

SÉRIE A, N° 750.

N° D'ORDRE :
1523.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR

M. F. CROZE,

Stagiaire à l'Observatoire de Paris.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LES SPECTRES
D'ÉMISSION DES GAZ USUELS.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 28 juin 1913, devant la Commission d'Examen.

MM. LIPMANN,	<i>Président.</i>
BOUTY,	{ <i>Examineurs.</i>
JEAN PERRIN,	

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1913



Digitized by the Internet Archive
in 2026

SÉRIE A, N° 750.

N° D'ORDRE :
1523.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR

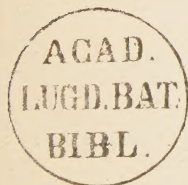
M. F. CROZE,

Stagiaire à l'Observatoire de Paris.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LES SPECTRES
D'ÉMISSION DES GAZ USUELS.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le juin 1913, devant la Commission d'Examen.



MM. LIPMANN, *Président.*
BOUTY, *Examineurs.*
JEAN PERRIN, }

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1913

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.

	MM.	
Doyen.....	P. APPELL, Professeur.	Mécanique analytique et mécanique céleste.
Doyen honoraire.....	G. DARBOUX.....	Géométrie supérieure.
Professeurs honoraires. {	CH. WOLF.	
	J. RIBAN.	
	LIPPMANN.....	Physique.
	BOUTY.....	Physique.
	BOUSSINESQ.....	Physique mathématique et Calcul des probabilités.
	PICARD.....	Analyse supérieure et Algèbre sup.
	Y. DELAGE.....	Zoologie, Anatomie, Physiol. compar.
	GASTON BONNIER.....	Botanique.
	DASTRE.....	Physiologie.
	KÖENIGS.....	Mécanique phys. et expérimentale.
	VÉLAIN.....	Géographie physique.
	GOURSAT.....	Calcul différentiel et Calcul intégral.
	HALLER.....	Chimie organique.
	JOANNIS.....	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	JANET.....	Physique (Enseignement P. C. N.).
	WALLERANT.....	Minéralogie.
	ANDOYER.....	Astronomie.
	PAINLEVÉ.....	Mécanique rationnelle.
Professeurs.....	HAUG.....	Géologie.
	HOUSSAY.....	Zoologie.
	H. LE CHATELIER.....	Chimie.
	GABRIEL BERTRAND...	Chimie biologique.
	M ^{me} P. CURIE.....	Physique générale.
	CAULLERY.....	Zool. (Évolution des êtres organisés).
	C. CHABRIÉ.....	Chimie appliquée.
	G. URBAIN.....	Chimie.
	ÉMILE BOREL.....	Théorie des fonctions.
	MARCHIS.....	Aviation.
	JEAN PERRIN.....	Chimie physique.
	G. PRUVOT.....	Zoologie, Anatomie, Physiol. comp.
	MATRUCHOT.....	Botanique.
	ABRAHAM.....	Physique.
	CARTAN.....	Calcul différentiel et Calcul intégral.
	CL. GUICHARD.....	Mathématiques générales.
	N.....	Applicat. de l'Analyse à la Géométrie.
	N.....	Histologie.
	PUISEUX.....	Mécanique et Astronomie.
	LEDUC.....	Physique.
	MICHEL.....	Minéralogie.
	HEROUARD.....	Zoologie.
	LÉON BERTRAND.....	Géologie.
Professeurs adjoints...	RÉMY PERRIER.....	Zoologie (Enseignement P. C. N.).
	MOLLIARD.....	Physiologie végétale.
	COTTON.....	Physique.
	LESPIEAU.....	Chimie.
	GENTIL.....	Pétrographie.
	SAGNAC.....	Physique (Enseignement P. C. N.).
	PÉREZ.....	Zool. (Évolution des êtres organisés).
Secrétaire.....	D. TOMBECK.	

A

MONSIEUR G. LIPPMANN,

MEMBRE DE L'INSTITUT.

Hommage de profonde gratitude.

A

MONSIEUR J. LAMIRAND,

INSPECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS.

Avec toute ma reconnaissance.

PREMIÈRE THÈSE.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LES

SPECTRES D'ÉMISSION DES GAZ USUELS.

INTRODUCTION.

1. *Les problèmes de la spectroscopie.* — La spectroscopie, qui avait été présentée par ses fondateurs comme une méthode plus délicate d'analyse chimique, est devenue essentiellement une étude du mécanisme de l'émission lumineuse. Le premier objet de cet étude consiste évidemment dans le relevé des spectres. Mais ce relevé doit aboutir à une classification naturelle des spectres et, dans un même spectre, des raies qui le constituent. Et, c'est seulement lorsque nous disposerons d'une telle classification, que nous aurons une base assez solide pour édifier une théorie cohérente de l'ensemble des phénomènes d'émission.

Nous possédons actuellement de la plupart des spectres des relevés précis dans la région qui va du bleu jusque dans l'ultraviolet; il n'en est pas de même dans la partie moins réfrangible, que jusqu'à ces derniers temps il était difficile de photographier. Malgré quelques travaux récents, il reste néanmoins beaucoup à faire dans cette voie.

Un grand nombre des raies déjà mesurées avec précision ont pu être distribuées en séries ou en groupes

naturels, mais il en reste beaucoup pour lesquelles on n'a pu mettre en évidence aucune loi de distribution. Il est d'ailleurs nécessaire de joindre à la considération de la position des raies dans le spectre celle de leurs variations diverses : renversement, élargissement, affaiblissement et extinction sous l'influence de la self-induction, effet Humphreys, effet Stark, effet Zeeman. En particulier, on peut espérer que l'étude systématique de l'effet Zeeman, permettra de trouver des régularités là où l'on n'aperçoit directement aucune loi de distribution et de contrôler les séries et les groupes déjà trouvés.

2. *Objet du présent travail.* — Je me suis proposé d'étudier au point de vue de leur structure les spectres de quelques gaz, dont l'intérêt est considérable au point de vue spectroscopique et au point de vue astronomique : l'hydrogène, l'oxygène et l'azote.

Je me suis attaché à compléter les relevés des spectres de ces gaz en allant vers l'infra-rouge aussi loin que le permet la méthode photographique, à chercher la distribution de leurs raies ou de leurs bandes, et, toutes les fois que cela a été possible, à les étudier dans le champ magnétique.

On sait que jusqu'ici on admettait que les bandes résolubles en raies fines sont insensibles au champ magnétique, et que les bandes présentant l'effet Zeeman ne sont probablement pas résolubles. Je me suis attaché à chercher s'il n'y avait pas des bandes à la fois résolubles et sensibles au champ et si l'on ne pouvait effectivement résoudre les bandes tenues jusqu'ici pour non résolubles.

3. *Division.* — Ce Mémoire est divisé en deux Parties :

La première est consacré à l'exposé des procédés et des dispositifs employés, la seconde aux résultats obtenus.

Ces recherches commencées à l'Observatoire de Meudon ont été poursuivies au Laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne, sous la haute direction de mon maître M. G. Lippmann, Membre de l'Institut. Je le prie de vouloir bien agréer ici l'expression de ma profonde et très respectueuse gratitude. Les expériences relatives à l'effet Zeemann ont été faites au laboratoire de physique de l'École Normale supérieure, grâce à la bienveillance de M. Cotton, qui a mis à ma disposition pendant plusieurs mois un grand électro-aimant de Weiss et un excellent réseau concave de Rowland. Je ne saurais trop le remercier des facilités qu'il a ainsi offertes à mon travail et des précieux conseils qu'il n'a cessé de me donner au cours de ces recherches.

Je me fais un agréable devoir d'offrir tous mes remerciements, à M. Deslandre, directeur de l'Observatoire de Meudon qui m'a autorisé à travailler pendant plusieurs années dans son laboratoire, à M. Manuvrier, directeur-adjoint du Laboratoire des Recherches physiques, qui a mis à ma disposition toutes les ressources du laboratoire, à M. Langevin, professeur au Collège de France, qui m'a prêté un magnifique réseau plan de Rowland, à M. Abraham, directeur du Laboratoire de Physique de l'École Normale supérieure, à M. Guillet, maître de conférences, qui a témoigné au développement de ces recherches le plus actif intérêt, à MM. Hemsalech et de Watteville, qui m'ont permis de profiter largement de leur haute expérience en spectroscopie, à MM. Aubert, Duffau et Grumbach, préparateurs, qui m'ont prêté l'aide la plus amicale.

PREMIÈRE PARTIE.

DESCRIPTION DES APPAREILS ET EXPOSÉ DES MÉTHODES EMPLOYÉES.

I. — PROCÉDÉ D'ILLUMINATION DES CORPS.

4. *Appareils producteurs de la décharge électrique.* — La plupart des spectres étudiés ici ont été produits en faisant passer la décharge électrique d'une bobine d'induction ou d'un transformateur à courant alternatif dans un tube de Geissler.

J'ai eu d'abord à ma disposition, à l'Observatoire de Meudon une bobine Radiguet de 35^{cm} d'étincelle. Au Laboratoire des Recherches physiques, où a été effectuée la plus grande partie de mon travail, je me suis servi d'un transformateur symétrique de Rochefort de 35^{cm} d'étincelle également. Je l'ai utilisé tantôt comme une bobine d'induction en l'associant à un interrupteur, à un condensateur primaire, tantôt comme un transformateur à courant alternatif en réglant l'intensité du courant primaire de 110 volts au moyen d'une bobine à réaction.

Le condensateur, que pour certaines expériences je mettais en dérivation sur le circuit secondaire, comprenant une coupure à étincelle, est un condensateur à plateau du modèle indiqué par M. Hemsalech ⁽¹⁾. Il permet d'obtenir des capacités variant de $10 \cdot 10^{-5}$ en $10 \cdot 10^{-5}$ microfarads et pouvant atteindre jusqu'à $475 \cdot 10^{-5}$ microfarads. La capacité employée a toujours été la capacité de résonance.

Dans certains cas, j'ai introduit en série dans le circuit secondaire une bobine de self-induction.

(1) HEMSALECH, *Thèse* Paris, 1901.

Celle-ci comprend plusieurs couches de fil superposées, qui peuvent être à volonté séparées ou réunies entre elles. J'ai mesuré et réuni dans le Tableau suivant les self-inductions correspondant aux diverses combinaisons que j'ai utilisées.

Nombre des couches en circuit.	Self-induction en henrys.
4.....	0,0031
7.....	0,0070
13.....	0,0153
19.....	0,0469
21.....	0,075
25.....	0,15

5. *Tubes spectraux.* — J'ai adopté pour les tubes spectraux une forme qui permet l'observation en bout. Les électrodes sont constituées, d'après la méthode de Ames, par des tubes en aluminium.

Les tubes à vide que j'ai utilisés avaient dans la partie capillaire un diamètre intérieur de 2^{mm} à 2^{mm},5.

Pour étudier le spectre de la lueur négative, en général très faible, j'ai fait construire un tube, dans lequel l'électrode négative est constituée par un tube d'aluminium de 8^{mm} de diamètre intérieur et aussi longue que l'est d'ordinaire la partie capillaire des tubes spectraux. De cette façon, à la pression qui correspond à son maximum d'éclat, la lueur négative se présente sous la forme d'un cylindre plein de 2^{mm} de diamètre et aussi long que l'électrode. On peut l'observer suivant son prolongement, ce qui assure l'intensité maxima.

6. *Préparation des tubes spectraux.* — Les tubes étaient soudés à une trompe à mercure de Berlemont par une canalisation en verre, comprenant un tube à acide phosphorique et un tube à potasse caustique pour absorber la vapeur d'eau et le gaz carbonique.

Avant d'introduire le gaz à étudier, il est nécessaire de

débarrasser le tube de tous les gaz occlus dans les électrodes ou adhérents aux parois.

A cet effet le tube, préalablement lavé, puis soudé à la canalisation de la trompe, était rempli d'oxygène. On faisait le vide; et, en même temps on faisait passer dans le tube de fortes décharges condensées, tout en le chauffant jusqu'à la température du ramollissement du verre de façon à enlever toute l'humidité. L'opération était répétée plusieurs fois et finalement le vide était poussé jusqu'à ce que le courant ne traversât plus le tube. A ce moment le gaz à étudier était introduit dans le tube.

Toutes les fois que cela a été possible, j'ai soudé à la canalisation un tube contenant un corps ou un mélange de corps qui, par élévation de température, dégageait le gaz que je voulais étudier. Dans le cas de l'hydrogène, j'ai simplement soudé à la canalisation un osmorégulateur de Villard. Ce procédé a l'avantage d'éviter les robinets, et, par suite, les vapeurs carbonées dégagés par les graisses qui servent à les lubrifier. Lorsqu'il n'a pas été applicable, un tube barométrique muni d'un robinet et plongeant par son extrémité inférieure évasée dans une cuve à mercure a été soudé à la canalisation. Au moment voulu, le tube abducteur de l'appareil producteur du gaz est placé sous le tube barométrique, dont le robinet est maintenu fermé. Quand le gaz a rempli la chambre barométrique, on retire le tube abducteur. On peut alors ouvrir doucement le robinet et laisser le gaz se répandre dans l'ensemble de la canalisation sans avoir à craindre de projections de mercure. Il est facile ensuite au moyen de la trompe d'obtenir dans le tube la pression qu'on désire.

II. — SPECTROGRAPHES EMPLOYÉS.

7. *Spectrographes de grande clarté.* — Suivant le caractère des expériences que j'avais à faire, j'ai employé des

spectrographes de modèles très différents. Ils peuvent cependant se ramener à deux types principaux. Les premiers sont des spectrographes de grande clarté et de dispersion assez faible, destinés à l'étude des spectres dans les parties les moins intenses.

Au début de ces recherches j'ai eu à ma disposition, à l'Observatoire de Meudon, un spectrographe constitué par un collimateur de 55^{cm} de longueur et de rapport d'ouverture égal à $\frac{1}{15}$, deux prismes de flint moyen et une chambre photographique de 65^{cm} de longueur focale. L'objectif du collimateur était achromatisé pour les rayons visibles et l'objectif de la chambre était une lentille simple en quartz. Dans la région comprise entre $\lambda 6500$ A. U. et $\lambda 8500$ un intervalle de 100 A. U. correspondait sur la plaque photographique à une longueur de 1^{mm} environ.

Au Laboratoire des Recherches physiques j'ai construit un spectrographe un peu moins dispersif que le précédent : dans la région étudiée un intervalle de 100 A. U. correspond seulement sur la plaque photographique à une longueur moyenne de 0^{mm},54. Par contre il est beaucoup plus lumineux et rigoureusement achromatique. Il est constitué, suivant le type de Littrow, par deux miroirs concaves de 65^{cm} de distance focale et de 10^{cm} de diamètre, et un demi-prisme de flint moyen argenté sur une de ses faces rectangles.

Il est possible sans rien changer à la position des pièces essentielles du spectrographe de remplacer le demi-prisme par un réseau par réflexion.

Pour la recherche des spectres très faibles, j'ai employé deux spectrographes de dispersion moins grande encore, mais de plus grande clarté. L'un d'eux constitué par un prisme de quartz associé à un collimateur de 35^{cm} construit par M. Pellin, m'avait été prêté par M. Giurgea.

L'autre construit au Laboratoire comprend un prisme

de flint moyen et un collimateur de 35^{cm} de longueur focale.

Enfin, dans le but de mesurer avec assez de précision les bandes qui se trouvent dans la partie la moins réfrangible du premier groupe de l'azote, j'ai employé un spectrographe, un peu plus dispersif que les précédents, tout en étant assez lumineux. Il est constitué essentiellement par un prisme composé de Rutherford associé à un collimateur de 25^{cm}. Il avait été construit par M. Watteville et j'ai dû à son obligeance de pouvoir l'utiliser.

8. *Spectrographes à grande dispersion.* — Pour les expériences relatives à la résolution des bandes, et à l'étude du phénomène Zeeman, j'ai dû employer des spectrographes de dispersion beaucoup plus grande.

A l'Observatoire de Meudon, j'ai eu à ma disposition un spectrographe construit suivant le modèle de Littrow, et dont les pièces essentielles étaient un réseau Rowland plan de quatre pouces de largeur et comptant 567 traits par millimètre, et un objectif astronomique de 2^m,50 de distance focale.

Les expériences relatives à l'effet Zeeman ont été faites au Laboratoire de l'École Normale avec le spectrographe qui a servi aux belles recherches de M. A. Dufour. Il est constitué par un réseau concave de Rowland comptant quatre pouces de largeur, ayant 560 traits par millimètre et dont le rayon est égal à 3^m,144. Il est monté avec un collimateur suivant le mode indiqué par Runge et Paschen. L'astigmatisme est ainsi évité et dans le troisième ordre, qui est particulièrement lumineux, dans ce réseau, un intervalle de 1 A. U. dans la région voisine de $\lambda 6500$ correspond sur la plaque photographique à une longueur de 0^{mm},4 environ.

Enfin, pour résoudre les bandes du fluorure de calcium, je me suis servi d'un spectrographe du type Littrow con-

stitué par un réseau plan de 14^{cm} de largeur et de 590 traits au millimètre associé à un objectif de 10^{m} de distance focale, qui m'avait été prêté par M. Viennet.

III. — PLAQUES PHOTOGRAPHIQUES.

9. Pour photographier les régions du spectre correspondant des longueurs d'onde plus courtes $\lambda 5000$ je me suis servi des plaques Lumière, marque Sigma, et des plaques panchromatiques Wratten et Wainright quant la région à étudier était comprise entre $\lambda 5000$ et $\lambda 7000$ A.U.

Mais, pour obtenir des radiations de longueur d'onde plus grande, j'ai dû préparer moi-même les plaques dont j'avais besoin. Au début de ces recherches, je me suis servi de plaques sensibilisées au trempé suivant une formule que m'avait communiquée M. G. de Montcetz ⁽¹⁾, alors attaché à l'Observatoire de Meudon. D'après ce procédé dérivé de celui de Lehmann ⁽²⁾ et des études de R. Wallace ⁽³⁾, la préparation des plaques photographiques se fait de la façon suivante. On commence par faire une solution aqueuse au $\frac{1}{500}$ de bleu d'alizarine bisulfité, qu'il importe d'utiliser aussitôt que préparée. Ensuite on dilue dans 56^{cm^3} d'eau distillée 3^{cm^3} de la solution de bleu d'alizarine bisulfité; on obtient ainsi une solution brun clair. On ajoute 1^{cm^3} d'amonniaque concentrée ($d = 0,91$) et la couleur vire au vert clair. D'autre part à 42^{cm^3} d'alcool on ajoute 2^{cm^3} d'une solution aqueuse au $\frac{1}{500}$ de nigrosine B. Baeyer et 30 gouttes d'une solution alcoolique au $\frac{1}{1000}$ de pinacyanol. Le bain sensibilisateur est obtenu par le mélange de ces deux solutions. Les plaques y sont immergées pendant 4-5 minutes, puis

⁽¹⁾ G. DE MONTCETZ, *C. R. Acad. Sc.*, t. CXLIX, 1909, p. 851-852.

⁽²⁾ LEHMANN, *Ann. der Phys.*, 4^e série, t. V, 1901, p. 633-658.

⁽³⁾ R. WALLACE, *Astrophys. Journ.*, t. XXVI, 1907, p. 299-325.

essorées avec un tampon d'ouate et séchées rapidement, ces trois opérations se faisant dans une complète obscurité.

Les plaques sont développées à la manière ordinaire, après avoir été au préalable lavées à l'eau courante pendant une dizaine de minutes. Il importe de remarquer que toutes les plaques du commerce ne sont pas également susceptibles de subir cette préparation; et, ce sont les plaques Jouglà, bande mauve, qui ont toujours donné les meilleurs résultats.

Avec des plaques sensibilisées de cette manière, j'ai pu photographier les bandes de l'azote jusque vers $\lambda 9000$ A.U., et j'ai pu remarquer tout de suite que, mieux que les plaques préparées suivant la formule de Lehmann, elles permettaient d'enregistrer les parties naturellement peu intenses des spectres. Par contre il m'avait semblé que le noircissement, plus uniforme, était moins dense pour les raies d'intensité notable. Il en résultait que les spectres obtenus manquaient un peu de relief. J'ai remédié à cet inconvénient en ajoutant au bain sensibilisateur 3-5 gouttes d'une solution au $\frac{1}{40}$ de nitrate d'argent. Enfin, me fondant sur la relation entre les bandes d'absorption et le pouvoir sensibilisateur des colorants du groupe des cyanines, j'ai été amené à substituer au pinacyanol la dicyanine, dont les bandes d'absorption se trouvent plus voisines du rouge que celles du pinacyanol. Les plaques préparées de cette façon se sont montrées d'une sensibilité sinon plus étendue du moins plus uniforme que celles que j'avais d'abord obtenues en suivant la formule de M. de Montcetz; mais, de même que celles-ci, elles ne conservent pas leur sensibilité pour les radiations de longueur d'onde plus grande que $\lambda 7000$ pendant plus de 3 jours.

IV. — DÉTERMINATION DES LONGUEURS D'ONDE.

10. *Spectres de comparaison.* — J'ai employé, pour la détermination des longueurs d'onde, la méthode généralement adoptée quand, dans la région étudiée, il existe des spectres faciles à obtenir et dont les raies ont été mesurées avec assez de précision pour servir d'étalons. Le spectre à étudier est comparé au spectre étalon, qui est photographié sur la même plaque, toutes les précautions étant prises pour que les raies de l'un des spectres ne soient pas déplacées par rapport aux raies de l'autre.

Dans les cas où le spectre que j'étudiais comprenait des raies déjà connues, ce sont ces raies que je prenais comme étalons. Dans les autres cas, j'ai utilisé, comme spectres de comparaison, soit celui de l'arc au fer, soit celui de l'arc au baryum. L'arc au fer servait pour les longueurs d'onde plus petites que $\lambda 6494$ A. U. Pour les longueurs d'ondes plus grandes, je me suis servi du spectre d'arc du baryum, produit entre deux charbons, dont l'un, le charbon positif, percé suivant son axe d'un trou, était muni d'une mèche constituée par un mélange d'amiante et de silicate de potasse et de chlorure de baryum.

Le choix de l'arc au fer pour les longueurs d'onde plus petites que $\lambda 6494$ A. U. s'imposait après les mesures de haute précision de Fabry et Buisson ⁽¹⁾ de Kayser ⁽²⁾ et de Eversheim ⁽³⁾, Quant au baryum, on sait qu'il donne entre $\lambda 6500$ A. U. et $\lambda 9000$ des raies intenses et nom-

⁽¹⁾ FABRY et BUISSON, *Astrophys. Journ.*, t. XXVIII, 1908, p. 169-196.

⁽²⁾ KAYSER, *Zeits. für wiss. Photo.*, t. IX, 1911, p. 173-195.

⁽³⁾ EVENSHEIM, *Zeits. für wiss. Photo.*, t. V, 1907, p. 122-180.

breuses, dont les longueurs d'onde ont été mesurées par Lehmann ⁽¹⁾, Hermann ⁽²⁾ et Paschen ⁽³⁾.

11. *Mesure des clichés.* — Les mesures sur les clichés négatifs originaux ont été faites avec une des machines construites par Gautier pour les mesures des clichés photographiques de la Carte du Ciel, à l'Observatoire de Paris. Elle a été mise gracieusement à ma disposition par M. Jules Baillaud, à qui je suis heureux d'exprimer ici mes remerciements. Les pointés ont été faits à l'aide d'un viseur muni d'un réticule comprenant plusieurs couples de fils parallèles; j'ai toujours opéré en amenant la raie visée sur l'un des fils du réticule. Le pas de la vis est de 1^{mm} et le tambour qui la commande est divisée en 300 parties. On peut facilement apprécier le quart de division, ce qui fait que la machine donne au moins le $\frac{1}{1000}$ de millimètre à chaque pointé. Mais en fait, à cause de l'apparence dissymétrique des têtes de bandes, de la largeur considérable et de la mauvaise définition de certaines raies diffuses, les positions sont en général déterminées avec une précision beaucoup plus faible que celle qui résulterait des caractéristiques de la machine elle-même, et qui sera indiquée pour chacun des Tableaux de longueurs d'onde.

12. *Calcul des longueurs d'onde.* 1°. *Spectres prismatiques.* — Dans ce cas, les distances Δ entre les raies sont transformées en longueurs d'onde λ , à l'aide de la formule d'interpolation de Cornu-Hartmann

$$\lambda = b + \frac{c}{\Delta - a}$$

(1) H. LEHMANN, *Ann. der Phys.*, 4^e série, t. VIII, 1902, p. 643-651.

(2) HERMANN, *Ann. der Phys.*, 4^e série, t. XVI, 1905, p. 684-707.

(3) F. PASCHEN, *Ann. der Phys.*, 4^e série, t. XXIX, 1909, p. 625-663.

ou a , b , c sont trois constantes qu'on détermine en se rapportant à trois raies connues du spectre de comparaison.

2° *Spectres de réseaux.* — Dans le cas où les raies du spectre de comparaison sont nombreuses, les calculs peuvent être conduits de la façon suivante. A l'aide de l'atlas du spectre du fer donné par MM. Fabry et Buisson, il est facile de trouver immédiatement les longueurs d'onde approchées des raies du fer qui sont sur le cliché; en se reportant à la Table des étalons secondaires internationaux adoptée au Congrès d'Astronomie physique tenu au Mont-Wilson en 1910 et aux mesures publiées plus récemment par Kayser pour servir d'étalons tertiaires, on obtient pour la plupart de ces raies les longueurs d'onde dans l'air, aux conditions ordinaires, avec une grande précision. On choisit deux de ces dernières raies qui se trouvent sur le cliché à une certaine distance l'une de l'autre, et en admettant, en première approximation, que les variations de distance sur la plaque sont proportionnelles aux variations de longueur d'onde, on peut, à l'aide des deux raies du fer prises comme bases, calculer rapidement les longueurs d'onde de toutes les raies du cliché y compris celles du fer. Les nombres trouvés ainsi sont un peu inexacts, car l'hypothèse faite plus haut n'est pas vraie, d'une part parce que le réseau ne donne pas une dispersion tout à fait normale, et d'autre part parce que la plaque n'épouse pas la surface de mise au point, mais lui est seulement sécante. On s'en aperçoit d'ailleurs à ce que les valeurs trouvées pour les longueurs d'onde des raies du fer, autres que les deux choisies pour bases, ne coïncident pas exactement avec celles des Tables internationales. On calcule alors, à l'aide de ces données, les corrections nécessaires pour établir cette coïncidence; connaissant la portion d'une raie du spectre étudié, il n'y a plus qu'à faire subir à la longueur d'onde trouvée tout

à l'heure, la petite correction calculée, pour avoir la longueur d'onde plus exacte.

Ce procédé n'est plus applicable quand les raies étalons sont trop espacées, c'est-à-dire quand, entre les raies de base de tout à l'heure, il n'y a que très peu ou même point d'autres raies connus du spectre de comparaison. Dans ce cas, j'ai opéré de la manière suivante. Je construis d'abord une formule d'interpolation de Newton, en prenant comme raies de base la plupart de celles du spectre de comparaison qui se trouvent sur le cliché. A l'aide de cette formule, je calcule alors les longueurs d'onde de toute une série de raies du spectre à étudier choisies de telle façon qu'entre deux raies successives de la série, on puisse sans erreur sensible appliquer une formule d'interpolation linéaire pour calculer les autres raies. En appliquant cette dernière phase du calcul aux quelques raies du fer laissées de côté, on se rend compte aisément de l'exactitude avec laquelle sont déterminées les longueurs d'onde de l'ensemble des raies du spectre étudié.

13. *Calcul des nombres de vibrations.* — Les lois des séries spectrales se rapportent aux nombres de vibrations. Pour les calculer, il faut réduire à ce qu'elles seraient dans le vide, les valeurs des longueurs d'onde mesurées dans l'air dans les conditions de l'expérience. A cet effet, j'ai construit, d'après les mesures de Kayser et Runge ⁽¹⁾ sur la dispersion de l'air une Table qui permet de faire rapidement cette transformation. Il suffit ensuite de prendre l'inverse de la longueur d'onde ainsi trouvée. En plaçant la virgule après le cinquième chiffre, le nombre ainsi obtenu correspond aux nombres d'oscillations effectuées pendant que la lumière parcourt 1^{cm} de longueur.

(1) KAYSER et RUNGE, *Abhand. der Berl. Akad.*, 1893.

DEUXIÈME PARTIE.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES SPECTRES.

CHAPITRE I.

Hydrogène.

1. — LES SPECTRES DE L'HYDROGÈNE.

14. *Les travaux sur les spectres de l'hydrogène.* — Depuis les premières recherches de Masson ⁽¹⁾ (1851) et d'Angström ⁽²⁾ (1853), l'étude spectrale de l'hydrogène a fait l'objet d'un nombre considérable de travaux. On est ainsi arrivé à attribuer à l'hydrogène, avec plus ou moins de certitude, six spectres différents, dont quatre seraient des spectres de lignes et deux des spectres de bandes.

15. *Les spectres de l'hydrogène dans le tube de Geissler.* — Tous ces spectres peuvent d'ailleurs être obtenus dans les tubes de Geissler, soit simultanément, soit en faisant varier les conditions de la décharge.

Lorsqu'un tube de Geissler est parcouru par la décharge ordinaire d'une bobine d'induction et qu'on prend soin d'éliminer le courant qui se produit à la fermeture du circuit primaire par l'interrupteur, on peut distinguer dans le tube illuminé trois régions d'aspect bien différent. La partie large voisine de l'électrode positive est remplie par une lueur de couleur bleue. Cette lueur a été analysée

: ⁽¹⁾ A. MASSON, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3^e série, t. XXXI, 1851, p. 295-326.

⁽²⁾ A. ANGSTRÖM, *Kgl. Svensk. Vetensk. Akad. Handl.*, 1883, p. 229-232.

au spectroscope par MM. Himstedt et von Dechend ⁽¹⁾; elle donne un spectre de bandes cannelées dégradées vers le rouge et situées dans la partie la plus réfrangible du spectre visible.

La partie étroite du tube est remplie par une lueur rouge très brillante. Elle donne deux spectres principaux. L'un d'eux, appelé le *premier spectre* de l'hydrogène, comprend, dans la région visible seulement, quatre raies régulièrement distribuées suivant une série qui s'étend dans l'ultra violet jusque vers λ 3660 et se prolonge jusqu'à λ 2650 par une bande continue. L'autre, appelé le *second spectre*, est constitué par un très grand nombre de raies distribuées sans ordre nettement apparent, sur toute l'étendue du spectre.

Mais outre ces deux spectres principaux, V. Schumann ⁽²⁾ en a reconnu deux autres situés dans l'ultra violet extrême, entre λ 183 μ et 123 μ dont l'un apparaît aux pressions basses et est peut-être la suite du second spectre de l'hydrogène, tandis que l'autre s'obtient seulement aux pressions plus élevées.

La partie du tube voisine de l'électrode négative est remplie aux basses pressions par une lueur de couleur grise. Cette lueur a été étudiée autrefois par Liveing ⁽³⁾, mais celui-ci n'a pas trouvé d'autres raies que celles du second spectre de l'hydrogène.

Enfin, si la cathode est construite de façon à permettre la formation et l'observation des rayons canaux, on observe, d'après Goldstein ⁽⁴⁾, un spectre formé d'au moins dix bandes situées dans le bleu. Les conditions de

⁽¹⁾ F. HIMSTEDT et H. VON DECHEND, *Phys. Zeits.*, t. IX, 1908, p. 852-853.

⁽²⁾ V. SCHUMANN, *Wien. Anzeig.*, t. XXIX, 1892, p. 230-231; *Astrophys. Journ.*, t. XI, 1900, p. 312-313.

⁽³⁾ LIVEING, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, t. XII, 5, 1904, p. 337-348.

⁽⁴⁾ GOLDSTEIN, *Verhandl. D. Phy. Gesel.*, t. II, 1884, p. 16-19.

l'expérience ne permettent d'ailleurs pas de conclure d'une façon certaine si ce spectre est bien dû à l'hydrogène.

16. *Spectres de l'hydrogène étudiés dans ce travail.* — Je me suis limité à l'étude des deux spectres ordinairement attribués à l'hydrogène, qu'on observe simultanément dans la partie capillaire du tube de Geissler, et à la recherche du spectre du pôle négatif.

II. — LE PREMIER SPECTRE DE L'HYDROGÈNE.

17. *Le premier spectre de l'hydrogène et les séries spectrales.* — C'est l'étude du premier spectre de l'hydrogène qui a conduit les physiciens à la découverte des séries spectrales. Balmer est d'abord arrivé à représenter les longueurs d'onde de ses quatre premières raies par une formule simple qui peut se mettre sous la forme

$$\frac{1}{\lambda} = 109675,0 \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right] \quad (m = 3, 4, 5, 6).$$

Et, cette formule a pu presque aussitôt être appliquée, avec une erreur moindre que le $\frac{4}{100000}$, aux neuf autres trouvées par Cornu dans l'ultra violet. Frappés par l'importance du résultat, Rydberg, Kayser et Runge et enfin Ritz, se sont attachés à rechercher les lois de distribution des raies dans des spectres plus complexes. C'est ainsi qu'on est arrivé à constituer le système des séries fondamentales, comprenant une série principale et deux séries secondaires et à y ajouter plus récemment le système des séries de combinaison (Ritz).

Le spectre de l'hydrogène fut d'ailleurs un des premiers à bénéficier de la considération des séries. Et, quand E.-C. Pickering ⁽¹⁾ découvrit dans le spectre de l'étoile ζ

(1) E.-C. PICKERING, *Astrophys. Journ.*, t. IV, 1896, p. 369-370.

Poupe et en général dans les spectres des étoiles du type O_d du catalogue de l'Observatoire de Harvard College ⁽¹⁾, des raies inconnues, on put reconnaître tout de suite qu'elles appartenaient à la série principale et à la deuxième série secondaire du spectre de l'hydrogène, dont les raies obtenues dans le tube de Geissler et représentées par la formule de Balmer, constituaient la première série secondaire. Tout récemment Fowler ⁽²⁾ a pu reproduire la plupart de ces raies dans un tube contenant de l'hélium et des traces d'hydrogène. Il a même obtenu des raies nouvelles qui formeraient une seconde série principale de l'hydrogène.

L'ensemble du spectre ainsi obtenu s'étend de la raie H_α dont la longueur d'onde, dans le système de Rowland, est 6563,04 A. U. jusque dans l'ultra violet, Coblentz ⁽³⁾ a tenté sans succès d'étendre le relevé du spectre jusque dans l'infra-rouge; mais Paschen ⁽⁴⁾ est arrivé à mesurer deux raies dont les longueurs d'onde sont 12817,6 et 18751,3 A. U., et qui sont les deux premiers termes d'une première série secondaire du second type de Ritz, dont la limite se trouverait au voisinage de 8200 A. U. L'intensité des termes suivants de cette série est d'ailleurs trop faible pour qu'ils puissent être décelés par la photographie.

L'ensemble du spectre de séries de l'hydrogène peut ainsi être représenté par les formules suivantes, qui ont une forme particulièrement simple :

$$\text{Première série principale.} \quad \frac{\nu}{N_0} = \frac{1}{n^2} - \frac{1}{(1,5)^2} \quad n = 2, 3, 4, 5$$

$$\text{Deuxième série principale} \quad \frac{\nu}{N_0} = \frac{1}{n^2} - \frac{1}{(1,5^2)} \quad n = 2, 3, 4, 5$$

⁽¹⁾ CANNON, *Ann. Observ. Harvard*, t. XXVIII, 2^e Partie, 1901.

⁽²⁾ FOWLER, *Monthly Notice*, t. LXXIII, 1912, p. 62-71.

⁽³⁾ COBLENTZ, *Phys. Rev.*, t. XXII, 1906, p. 1-30.

⁽⁴⁾ PASCHEN, *Ann. der Phys.*, 4^e série, t. XXVII, 1908, p. 537-570.

Première série secondaire. $\frac{\nu}{N_0} = \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \quad m = 3, 4, \dots, 31$

Deuxième série secondaire $\frac{\nu}{N_0} = \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \quad m = 3.5, 4.5, \dots, 10.5$

Série de Ritz..... $\frac{\nu}{N_0} = \frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \quad m = 4, 5, \dots$

17. *Le phénomène de Zeeman dans le premier spectre de l'hydrogène.* — La considération des séries s'impose dans l'étude du phénomène de Zeeman. De nombreuses observations ont montré en effet que les raies d'une même série présentent qualitativement et quantitativement le même effet Zeeman. Or, jusqu'à ces derniers temps, nous ne possédions aucune mesure soignée des séparations magnétiques des raies de la série de Balmer la plus anciennement connue.

A la vérité, Michelson ⁽¹⁾ s'est occupé à diverses reprises du phénomène Zeeman dans le premier spectre de l'hydrogène. D'abord ⁽²⁾ il annonça que ses raies étaient très peu modifiées; les raies, naturellement doubles s'élargissaient et s'écartaient légèrement dans le champ. Dans un second Mémoire, il donna une mesure approchée de l'intervalle du doublet des vibrations perpendiculaires au champ dans le cas de la raie H_α , et il trouva 0,48 A. U. pour un champ de 10 000 gauss. Enfin, dans une dernière Note ⁽³⁾ il indiqua que la composante centrale du triplet magnétique, qui apparaissait élargie dans le champ était composée de six à sept raies très fines à peine résolubles, et dont l'intensité décroissait régulièrement à partir des raies médianes. Ce complexe de raies occupait tout l'espace compris entre les composantes latérales du triplet, qui elles-mêmes semblaient devoir se décomposer de la

(1) MICHELSON, *Astrophys. Journ.*, t. VI, 1897, p. 48-54.

(2) *Ibid*, t. VII, 1898, p. 131-138.

(3) MICHELSON, *Natur.*, t. LIX, 1899, p. 440-441.

même manière. Quelque temps après, Lord Blytwood et Allen ⁽¹⁾ trouvaient, que la distance des deux composantes de la raie H_{α} considérée à l'état normal est de $1,4.10^{-8}\text{mm}$ et que chacune de ces composantes donne dans le champ un triplet. Enfin Berndt ⁽²⁾ trouva que les raies de l'hydrogène étaient dans certains cas élargies, que dans d'autres cas on obtient un triplet.

Toutes ces observations ont été faites sur des spectres produits dans des tubes de Geissler disposés entre les pièces polaires d'un électro-aimant perpendiculairement aux lignes de force du champ. Or dans ces conditions il y a influence directe du champ magnétique sur la décharge. Celle-ci devient discontinue; et, si le champ est intense, elle refuse de passer. Dans tous les cas, le champ agit alors à la façon d'une capacité ⁽³⁾; et, l'on sait que dans ces conditions les raies de l'hydrogène sont élargies. Une telle disposition du tube de Geissler se prête donc mal à l'observation du phénomène Zeeman.

Cette remarque avait déjà été faite par M. Dufour ⁽⁴⁾, et, dans la belle série de travaux qu'il a effectués sur le phénomène Zeeman, il s'est toujours imposé la condition de disposer le tube de Geissler contenant le gaz à étudier de façon que la décharge le parcoure parallèlement aux lignes de force du champ. Dans ces conditions il a pu observer le dédoublement des raies H_{α} et H_{β} , mais sans faire de mesures.

Dans les expériences que j'ai faites, je me suis servi d'un réseau concave de Rowland de $3^{\text{m}},144$ environ de rayon de courbure, monté avec un collimateur, suivant le dispositif indiqué par Runge et Paschen qui réduit

(1) Lord BLYTWOOD et ALLEN, *Natur.*, t. LXV, 1901, p. 79.

(2) G. BERNDT, *Ann. der Phys.*, 4^e série, t. VIII, 1902, p. 625-642.

(3) G. RIBAUD, *C. R. Acad. Sc.*, t. CLIV, 1912, p. 1151-1153.

(4) A. DUFOUR, *Thèse*. Paris, 1906.

considérablement l'astigmatisme du système. Le spectre utilisé était suivant les cas celui du troisième ou celui du quatrième ordre; et, le réseau était disposé dans les conditions de diffraction à peu près normale. Le tube, de forme spéciale, était placé suivant l'axe d'un grand électro-aimant Weiss, dont les noyaux ont 17^{cm},5 de diamètre et dont les pièces polaires tronconiques étaient percées suivant leur axe d'un trou pour permettre l'introduction du tube, le diamètre de ce trou étant de 8^{mm} au voisinage de l'entrefer.

Les observations ont été faites seulement pour la lumière émise perpendiculairement aux lignes de force. On sait que, dans ces conditions, on a deux groupes de vibrations polarisées rectilignement, dont les unes sont parallèles aux lignes de force du champ, tandis que les autres leur sont perpendiculaires. Afin d'obtenir simultanément et sur des plaques différentes du champ d'observation les deux groupes de composantes correspondant à ces deux groupes de vibrations, au système de lentilles qui servait à projeter sur la fente du collimateur l'image de la partie du tube comprise dans l'entrefer, était adjoint un rhomboèdre de spath qui, par double réfraction, dédoublait cette image en deux images superposées, On avait ainsi sur la plaque photographique deux spectres superposés, l'un provenant des vibrations perpendiculaires aux lignes de force et l'autre des vibrations parallèles.

Les clichés ainsi obtenus ont été mesurés et réduits ainsi que je l'ai indiqué dans la première Partie, en prenant pour étalons de longueur d'onde les étalons internationaux.

La mesure directe du champ magnétique, qui, dans les conditions de mes expériences, n'était pas uniforme, aurait été très délicate, à cause de l'obligation de prendre le champ exactement au point correspondant à la partie du tube dont la lumière pénétrait dans la fente du spec-

trographe. Il est cependant possible d'éviter les difficultés qui proviennent de ce fait, en mesurant le champ par comparaison avec le phénomène de Zeeman dans des raies qui peuvent servir d'étalons. A cet effet une étincelle de self-induction entre électrodes de zinc était produite dans le champ, de façon que son image soit projetée sur la fente du collimateur dans les mêmes conditions que celle du tube de Geissler. La mesure de l'effet Zeeman sur les raies bleues du zinc et en particulier sur la raie 4680 Å. U., rapportées aux mesures absolues faites par MM. A. Cotton et P. Weiss ⁽¹⁾, donne la valeur du champ pour le point même qui correspond à l'effet Zeeman produit sur le spectre étudié. D'ailleurs, pour tenir compte de l'incertitude qui peut régner sur la position vraie de ce point, à cause des variations accidentelles du diamètre du capillaire dans les différents tubes employés, et à cause de la difficulté qu'il y a à placer l'étincelle exactement à la même hauteur que l'intérieur du capillaire, j'ai fait une série d'épreuves sur le zinc, en disposant l'étincelle à différents niveaux sur l'axe qui passe par le centre de l'entrefer perpendiculairement à la direction des noyaux de l'électro-aimant. Les valeurs du champ, correspondant aux limites extrêmes entre lesquelles pouvaient varier les positions de la partie utilisée du capillaire, différaient seulement de 100 gauss pour une valeur du champ de l'ordre de 24 000 gauss.

D'ailleurs sur plusieurs clichés, en même temps que les raies du gaz étudié, j'ai obtenu les raies du mercure 4046 et 4358 qui peuvent aussi servir d'étalons et qui, étant produites en même temps et dans les mêmes conditions que les raies à étudier, offrent encore plus de sécurité. J'ai pris la moyenne entre 17 valeurs obtenues, soit

(1) A. COTTON et P. WEISS, *Journal de Physique*, 4^e série, t. VI, 1907, p. 429-445.

à partir des raies du zinc, soit à partir des raies du mercure et j'ai adopté comme valeur moyenne 24 150 gauss dans une première série d'expériences et 24 120 gauss dans une deuxième.

Le Tableau suivant donne le résultat de ces deux séries d'expériences, la première ayant porté seulement sur les raies H_α , H_β , H_γ , la deuxième comprenant en outre la raie H_δ

	λ .	H.	$\Delta\lambda$.	H.	$\Delta\lambda$.	$\frac{\Delta\lambda}{\Delta H^2}$ moyen.
H_α	6562,82	24 150	0,976	24 120	0,994	0,946.10 ⁻⁴
H_β	4861,39		0,530		0,531	0,930.10 ⁻⁴
H_γ	4340,37		0,423		0,439	0,948.10 ⁻⁴
H_δ	4101,85				0,384	0,946.10 ⁻⁴

L'examen de ce Tableau montre que, si l'on tient compte des erreurs sur la mesure de $\Delta\lambda$ qui sont certainement inférieures à 0,02 A. U. et sur la valeur du champ qui ne dépassent pas 1500 gauss, les raies de la première série secondaire de l'hydrogène donnent sous l'influence du champ magnétique *un triplet pur d'écart normal*.

Je dois ajouter que dans l'intervalle de ces deux séries d'expériences a paru un important Mémoire de MM. Paschen et Back ⁽¹⁾, récemment complété par un nouveau ⁽²⁾, sur les variations de l'effet Zeeman avec l'intensité du champ. Dans leurs expériences ils ont pu obtenir des champs allant jusqu'à 40 730 gauss. En observant les changements magnétiques des triplets ou de doublets naturels très serrés, ils ont trouvé que les composantes de ces triplets ou doublets s'élargissent d'abord chacune pour leur compte. Lorsque le champ est assez intense pour que les composantes magnétiques des raies voisines viennent à s'enchevêtrer, le phénomène change. On n'a plus pour l'ensemble du triplet ou du doublet naturel qu'un seul triplet magnétique. La composante

(1) PASCHEN et BACK, *Ann. der Phys.*, 4^e série, t. XXXIX, 1912, p. 897-932.

(2) *Ibid*, t. XL, 1913, p. 960-970.

centrale de ce triplet n'est d'abord pas complètement polarisée et l'écart des composantes latérales diffuses est plus grand que l'écart normal. Mais, à mesure que le champ augmente, le triplet magnétique observé tend à prendre tous les caractères du triplet normal ⁽¹⁾. Dans le cas des raies H_α et H_β de l'hydrogène, qui sont des doublets très serrés, ils ont trouvé un triplet magnétique, dans lequel la polarisation de la composante centrale devient de plus en plus complète à mesure qu'augmente le champ. L'écart des composantes latérales qui correspond à $\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} = 1,04 \cdot 10^{-4}$ pour les valeurs du champ comprises entre 14 000 et 32 000 gauss donne pour $\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2}$ la valeur moyenne $1,01 \cdot 10^{-4}$ quand le champ est de l'ordre de 40 000 gauss.

Il semble, d'après ces expériences, que pour avoir un triplet de polarisation et d'écart normaux, il faudrait un champ beaucoup plus intense. Or, dans mes expériences, avec un champ de 24 000 gauss seulement, je trouve pour les quatre raies de la série un triplet déjà normal. Il y a donc désaccord entre nos résultats. Les différences quantitatives cependant ne peuvent pas s'expliquer par des erreurs dans les mesures, car des deux côtés celles qu'il faudrait supposer pour annuler ces différences sont bien supérieures à celles qui peuvent exister. D'ailleurs sur aucun des clichés que j'ai obtenus et pour aucune des raies photographiées on n'aperçoit le moindre indice d'une polarisation incomplète de la composante centrale. Sur mes clichés, cette composante est photographiée immédiatement au-dessus des composantes latérales, et nulle part on n'observe qu'elle se prolonge entre celles-ci, bien que son intensité soit largement suffisante.

(1) Les résultats des expériences de MM. Paschen et Back montrent quel intérêt il y a à disposer de champs magnétiques intenses et quels importants services pourrait rendre un électro-aimant de très grande puissance.

Il importe de remarquer que les conditions respectives dans lesquelles nous avons opéré sont très différentes. Dans les expériences de Paschen et Back, le tube à hydrogène était disposé perpendiculairement aux lignes de force du champ, tandis que j'ai toujours placé les miens, suivant l'axe de l'électro-aimant, afin d'éviter l'action perturbatrice du champ sur la décharge électrique. Pour résoudre le différend, il serait nécessaire de faire des expériences de contrôle en se plaçant des deux côtés dans des conditions identiques.

III. — LE SECOND SPECTRE DE L'HYDROGÈNE.

19. *Historique.* — Parmi tous les spectres étudiés depuis l'origine de la spectroscopie, il n'en est peut-être pas plus énigmatique que celui qu'on appelle ordinairement le *second spectre de l'hydrogène*. Son origine a fait l'objet de discussions qui ont commencé avec les premières recherches spectroscopiques et qui se sont continuées jusqu'à nos jours. Les uns, suivant l'opinion de Plücker et Hittorf, ont attribué ce spectre à l'hydrogène; d'autres, au contraire, ont pensé, après Angstrom, qu'il était dû à une impureté carbonée très difficile à écarter des tubes d'hydrogène. Il semble bien cependant que dans ces derniers temps, à la suite des travaux de A. Dufour ⁽¹⁾, et des récentes recherches de MM. Fabry et Buisson ⁽²⁾, l'opinion qui tente à prévaloir est que le spectre appelé *second spectre de l'hydrogène* est bien dû à ce gaz.

La structure de ce spectre est d'ailleurs aussi complexe que son origine est obscure. Ses raies extrêmement nombreuses semblent distribuées sans aucun ordre, surtout si l'on considère la région qui s'étend entre 5300 Å. U.

⁽¹⁾ A. DUFOUR, *Thèse*, Paris, 1906.

⁽²⁾ FABRY et BUISSON, *C. R. Acad. Sc.*, t. CLIV, 1912, p. 1500-1502.

et l'ultraviolet. Mais si l'on regarde avec un appareil de faible dispersion la partie du spectre qui va de λ 5300 jusque vers la raie H_{α} , on voit tout de suite que la régularité dans la position et dans l'intensité des raies est plus grande, et qu'on peut espérer trouver quelque loi de distribution en s'aidant de la considération des longueurs d'onde, de l'aspect des raies et des groupes, de l'influence du champ magnétique et aussi en étendant aussi loin que possible dans l'infra-rouge le relevé de ce spectre.

19. *Le second spectre de l'hydrogène dans la région des grandes longueurs d'onde.* — Au moment où j'ai entrepris ces recherches, il existait dans la région comprise entre λ 6527 et λ 2480 A. U. des relevés de Hasselberg ⁽¹⁾, Frost ⁽²⁾, Dufour ⁽³⁾, Waston ⁽⁴⁾, dont la précision était devenue de plus en plus grande. Pour la région moins réfrangible au contraire, nous ne possédions que les planches, d'ailleurs très belles, dessinées par Piazz-Smith ⁽⁵⁾, où les raies de ce spectre sont rapportées à l'échelle des fréquences exprimées en pouces anglais. D'ailleurs ceux de ces dessins dont l'examen permet la détermination des longueurs d'onde avec un peu de précision ne s'étendent pas au delà de 6836 A. U. J'ai cherché alors à obtenir des longueurs d'onde plus grandes que cette dernière limite; et, dans une Note présentée à l'Académie le 6 juin 1911 ⁽⁶⁾, j'ai donné le relevé de 72 raies comprises entre λ 6852 et λ 8027, d'après des photographies

⁽¹⁾ HASSELBERG, *Mém. Acad. Saint-Petersbourg*, 7^e série, t. XXX, n° 7, 1882; t. XXXI, n° 14, 1883.

⁽²⁾ FROST, *Astrophys. Journ.*, t. XVI, 1902, p. 100-105.

⁽³⁾ DUFOUR, *Thèse*, Paris, 1906.

⁽⁴⁾ WATSON, *Proc. Roy. Soc. A.*, t. LXXXII, 1909, p. 189-204.

⁽⁵⁾ PIAZZI-SMITH, *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, t. XXXII, 1887, p. 415-460.

⁽⁶⁾ *C. R. Acad., Sc.*, t. CLII, 1911, p. 1574-1576.

obtenues avec mon petit spectrographe à un prisme et à miroirs.

Quelque temps après (20 août 1911), Porlezza (7) publia un relevé du spectre allant de λ 3889,16 à 6362,82 A. U. Dans une Note ajoutée à la fin de son Mémoire, il discute mes observations et s'étonne que j'aie obtenue des longueurs d'onde allant jusqu'à 8000, alors qu'il n'avait rien pu observer au delà de 7065 A. U, même avec un spectrographe à prismes. L'explication de cette différence se trouve tout entière dans la différence de sensibilité des plaques photographiques que nous avons employées. M. Porlezza s'est servi des plaques Wratten, qui sont très sensibles jusque vers λ 7000, mais qui de 7000 à 8000 A. U. ne peuvent être impressionnées que par des raies de grande intensité. Au contraire, les plaques dont je me suis servi, et que je préparais d'après le procédé indiqué dans la première Partie, sont encore très sensibles entre 7000 et 8000, et peuvent déceler les raies même faibles de cette région. A la vérité, les intensités que j'ai attribuées à chacune des raies que j'ai mesurées seraient beaucoup trop grandes si elles devaient être considérées comme des valeurs absolues; mais ce n'était là que des valeurs relatives et les nombres donnés doivent être divisés au moins par 5 pour les rapporter à l'échelle généralement adoptée.

Depuis j'ai repris l'étude de ce spectre avec le spectrographe à un prisme triple de Rutherford. En prolongeant la durée de la pose jusqu'à 6 heures. j'ai pu obtenir un certain nombre de raies nouvelles. Comme dans cette région, 1^{mm} sur la plaque photographique correspond en moyenne à un intervalle de 185 A. U. les longueurs d'onde sont mesurées avec une précision de l'ordre de

(7) PORLEZZA, *Atti d. R. Acad. d. Lincei*, 5^e série, t. XX, 1911, p. 176-183,

i A. U. seulement. Les Tableaux suivants donnent les longueurs d'onde et les intensités de toutes les raies du second spectre de l'hydrogène moins réfrangibles que H_{α} , d'après les mesures de Piazz-Smith, Porlezza et les miennes. Ces longueurs d'onde sont exprimées dans le système de Rowland.

TABLEAU I.

Piazz-Smith.	Porlezza.	Piazz-Smith.	Porlezza.
»	6563,05 15	41,0 0,2	
6567,5 0,9	66,92 0	43,2 0,2	43,31 0
70,5 0,7	70,11 1	46,2 0,2	47,19 0
72,6 0,4	72,08 1	48,7 0,2	
74,3 0,5		52,2 0,1	
	79,73 0	53,5 0,2	
84,3 0,7		56,8 0,1	
84,7 1,0	85,98 0	61,5 0,2	
88,1 0,8		64,6 0,2	
92,0 0,4	90,90 1	67,2 0,1	
94,6 0,8	95,83 0	67,8 0,1	
98,2 0,4	97,58 0	68,3 0,2	
600,5 0,3	600,77 0	69,0 0,1	
01,3 0,3		70,0 0,2	
	04,57 1	71,1 0,2	
08,5 0,2		74,6 0,6	75,11 0
11,6 0,2		75,9 0,8	
13,3 0,1		77,9 0,4	77,41 0
16,4 0,4	17,49 0	78,6 0,5	
18,7 0,4	19,24 0	80,7 0,4	
20,0 0,4		82,9 0,4	
21,4 1	20,77 0	84,4 0,4	
22,8 0,8	22,82 1	6685,8 0,5	
	23,47 1	89,2 0,6	
	24,84 1	90,6 0,5	
27,5 0,7		92,2 0,7	
6629,2 0,8		94,1 0,9	6694,78 0
32,7 0,6	6633,47 0		96,86 1
35,1 0,8	36,48 1	99,3 0,8	98,94 0
38,7 0,1			701,73 1

TABLEAU I (*suite*).

Piazz-Smith.	Porlezza.	Piazz-Smith.	Porlezza.
04,6 0,8		69,3 0,8	
05,4 0,6	06,81 0	71,4 0,5	
13,1 0,6		74,7 0,5	
14,8 0,8		86,2 1,0	
15,9 0,6	16,90 0		90,30 1
17,8 0,5			92,65 0
20,6 0,3		96,3 0,6	
23,3 0,4		98,1 1,0	
26,0 0,4		803,5 0,6	
27,1 0,4		06,0 0,5	806,20 0
30,4 0,4		08,2 0,7	
31,5 0,6		08,4 0,8	
34,3 0,5		11,3 1,0	
38,3 0,8		14,5 0,5	
43,5 0,2	42,54 0	15,4 0,4	
44,7 0,1			17,74 1
45,1 0,2		20,2 0,4	20,38 0
49,4 0,5		21,3 0,6	
50,6 1,1		23,5 0,5	
6754,6 0,5	6755,82 0	27,7 0,6	
60,0 0,4		29,5 0,9	
65,1 0,6		36,2 0,3	
66,2 0,5			40,52 0

TABLEAU II.

Porlezza.	F. Croze.	Porlezza.	F. Croze.
	6852 0,2		16 1,2
	63 0,5		23 1,1
6874,73 1	73 0,6		30 0,8
77,52 0	78 0,7	36,04 0	37 1,2
	6883 0,4	6940,69 0	6941 1,0
	87 0,6		45 0,6
6900,19 0	900 0,4		54 0,8
03,47 0	04 0,7	62,82 0	62 1,2
6909,76 0	6908 0,8		67 0,6

TABLEAU III (F. Croze).

6972 0,4	7171 0,7	7331 0,4	7529 0,8
80 0,4	80 0,5 dif.	37 0,4	36 0,7
93 0,4	87 0,8	42 0,4	45 0,8
7004 0,4	96 0,8	49 0,8	57 0,4
13 0,4	202 0,5	66 0,6	65 0,5
23 0,5	10 0,3	80 0,5	76 0,5
37 0,7	16 0,5	86 0,5	82 0,5
48 0,8	22 0,5	99 0,6	89 0,3
56 0,9	27 0,3	409 0,6	607 0,8
62 0,3	34 0,5	17 0,2	15 0,9
67 0,6	43 0,5	28 0,2	39 0,2
72 1,0	58 0,6	44 0,2	60 0,6 dif.
80 0,3	70 0,8	53 0,6	69 0,8 double
96 0,6	76 0,7 dif.	67 0,8	705 0,5 dif.
107 0,5	85 0,5	80 0,2	46 0,5
16 0,6	97 0,6	88 0,2	97 0,3
28 0,3	304 0,4	96 0,5	809 0,6
43 0,5	15 0,8	505 0,5	27 0,6
53 0,5	21 0,3	14 0,4	950 0,2
65 0,5 dif.	25 0,6	19 0,3	8029 0,1

21. *Le phénomène Zeeman dans le second spectre de l'hydrogène.* — Le phénomène Zeeman dans le second spectre de l'hydrogène a été étudié à différentes reprises par M. A. Dufour. Dans un premier Mémoire ⁽¹⁾, il a observé, sans faire de mesures, le phénomène de Zeeman transversal sur les raies les plus intenses comprises entre λ 6238,57 et λ 4632,06 : il a trouvé ainsi que, à côté de quelques raies présentant l'effet Zeeman, la plupart des raies de cette région sont insensibles au champ magnétique. Dans un second Mémoire, il a étudié quantitativement l'effet Zeeman longitudinal sur les raies intenses comprises entre λ 4764,39 et 4340,29. Dans cette région

⁽¹⁾ A. DUFOUR. *Thèse*, Paris, 1906.

⁽²⁾ A. DUFOUR, *Radium*, t. V, 1908, p. 291-306.

ce sont les raies sensibles au champ magnétique qui sont les plus nombreuses.

Dans mes propres recherches, je me suis attaché surtout à la région moins réfrangible que 5600 A. U. J'ai pu obtenir une assez bonne photographie contenant les raies les plus intenses comprises entre 6238,57 et 5728,76 A. U. Cette photographie qui a demandé une durée de pose de 8 heures a été prise dans le troisième ordre du réseau de 3^m,144 de rayon. Tout le dispositif était d'ailleurs le même que dans les expériences relatives au premier spectre. L'intensité du champ magnétique était de 24 100 gauss environ.

J'ai réuni dans le Tableau suivant l'ensemble des résultats que j'ai obtenus relativement à l'effet Zeeman sur le second spectre. On trouvera quelques nombres relatifs à des raies plus réfrangibles que 5728,76, qui ont été obtenues en même temps que H γ ou H δ .

Les raies marquées d'un astérisque ont déjà été observées par M. Dufour. Les longueurs d'onde, exprimées dans le système de Rowland, sont celles qui ont été données par Watson et Porlezza.

λ .	$\Delta\lambda$.	λ .	$\Delta\lambda$.
6238,57*	7 0	6134,58 2	0
25,02*	9 0	27,53* 6	0
01,38*	3 0	22,01* 9	0
199,58*	6 0	098,45* 2	0
97,32* 4	0	96,21* 6	0
83,19* 6	0	91,16* 6 { vibr. perp. : doublet » par. : élargissement	0
61,81 4	0		
59,82 3	0	80,03* 8	0
35,56* 10	0		

λ .		$\Delta\lambda$.		$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2}$.	
		Vibrations perpendiculaires.	Vibrations parallèles	Vibrations perpendiculaires.	Vibrations parallèles.
6074,76	2	0	0		
70,21*	8	1,70?	0?	1,92.10 ⁻⁴	?
67,96*	6	0	0		
63,54*	5	0	0		
56,28*	2	0	0		
52,58*	3	0	0		
48,10*	2	0	0		
45,80*	1	0	0		
44,16*	1	0	0		
41,27*	1	0	0		
32,14*	10	0	0		
28,21*	5	doublet faible	élargissement		
24,00*	4	0	0		
21,53*	4	doublet faible	élargissement		
18,53*	7	0	0		
03,08*	4	élargissement	doublet faible		
5994,30*	4	0	0		
92,14*	1	0	0		
90,79*	1	0	0		
89,47*	3	0	0		
82,79*	6	1,11?	élargissement	1,29.10 ⁻⁴	
75,68*	8	0	0		
70,49	1	doublet faible	doub. faib. égal		
67,55*	1	0	0		
63,70*	1	0	0		
59,98*	3	0	0		
56,64	0	doublet faible	élargissement		
50,15*	6	0	0		
47,56*	3	0	0		
38,87*	6	0,946	élargissement?	1,09.10 ⁻⁴	
36,29	1	0	0		
31,62*	7	0,57	0	0,68.10 ⁻⁴	
25,09*	3	0	0		
20,95*	3	0	0		
16,76*	3	0	0		
888,41	6	0,87	0,87	1,05.10 ⁻⁴	1,05.10 ⁻⁴
84,91	6	0,84	0,84	1,01.10 ⁻⁴	1,01.10 ⁻⁴
78,73	2	doublet	doublet égal		

λ .		$\Delta\lambda$.		$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2}$	
		Vibration perpendiculaire.	Vibration parallèle.	Vibration perpendiculaire.	Vibration parallèle.
5872,12	4	doublet	doublet égal		
69,47	6	doublet	doublet égal		
64,74	2	o	o		
52,72	2	o	o		
49,56	2	o	o		
36,28*	6	o,55	o	0,68.10 ⁻⁴	
22,99*	6	élargissement?	o,56		0,69.10 ⁻⁴
15,18	4	o	o		
12,82*	10	o,40	élargissement?	0,49.10 ⁻⁴	
11,74	1	o	o		
06,35	1	o	o		
04,15	1	o	o		
01,45	1	o	o		
794,94	1	o	o		
91,93	2	o	o		
86,00*	1	o,52	o	0,65.10 ⁻⁴	
79,22	4	o	o		
75,28*	6	doublet étroit	o		
60,58	1	o,74	o,74	0,93.10 ⁻⁴	0,93.10 ⁻⁴
57,57	5	o	o		
37,06*	6	o	o		
32,11*	6	o	o		
28,76*	6	o	o		
4087,91	4	o	o		
171,45	5	o	0,28		0,66.10 ⁻⁴
77,26	9	o	0,24		0,56.10 ⁻⁴
80,30	3	o	0,24		
82,33	4	o	o		
95,82	3	0,26	o	0,62.10 ⁻⁴	
205,26	9	0,32	o	0,74.10 ⁻⁴	
12,67	9	0,26	o	0,61.10 ⁻⁴	
568,30	6	o	o		
72,90	5	o	o		
80,19	8	o	o		
82,79	7	o	o		
628,15	6	0,42	0,42	0,82.10 ⁻⁴	0,82.10 ⁻⁴
32,06	9	doublet diffus	doublet diffus		
34,20	10	0,46	o	0,90.10 ⁻⁴	

C.

3

21. *Recherche des régularités dans le second spectre de l'hydrogène.* — L'étude de l'effet Zeeman montre que, dans la région comprise entre 6240 et 5700, la plupart des raies les plus intenses sont insensibles à l'action du champ magnétique. Or, si jusqu'à présent on a trouvé dans les spectres de lignes des raies isolées ne présentant pas d'effet Zeemann, c'est seulement dans les spectres de bandes que ce fait a été constaté avec quelque généralité. On est ainsi amené à penser que le second spectre de l'hydrogène est un spectre complexe formé de l'ensemble d'un spectre de lignes et d'un spectre de bandes, ce dernier étant prédominant dans la région des grandes longueurs d'onde. Si d'ailleurs on observe les photographies de cette partie du spectre obtenues avec un appareil de faible dispersion, on est tout de suite frappé par la répétition de groupements à peu près semblables et qui semblent former des bandes d'un même groupe. Si l'on augmente la dispersion de l'appareil, l'apparence de bandes proprement dites disparaît, car on ne voit pas de séries de raies s'écartant à partir de ce qui semblait la tête de la bande. L'apparence de groupements distincts et semblables subsiste néanmoins, et chacun de ces groupements commence du côté tourné vers le rouge par un triplet et se termine de l'autre côté par un doublet intense. On distingue très facilement les doublets

6441,83-28,36; 6330,75-27,23; 6238,57-25,02; 6135,06-122,01;
6032,14-018,53

et les triplets

6399,71-80,30-62,67; 6299,60-85,56-75,10; 199,58-83,10-74,28;
6098,45-074,66-063,54

dont la plupart des composantes sont accompagnées de raies très faibles qui forment avec elles des doublets étroits. Les plus intenses parmi les raies de ces doublets ou de ces

triplets ont pu être observées dans le champ magnétique : aucune d'elles ne présente d'effet Zeeman. Il était dès lors tout naturel de rechercher la loi de leur succession en essayant pour chaque série une progression arithmétique des intervalles, comme c'est la règle dans le cas des spectres de bandes. En procédant de cette façon, on trouve que pour les raies mentionnées ci-dessus les différences secondes relatives aux fréquences de vibrations sont très sensiblement constantes. Dans ces conditions, il était tout indiqué de poursuivre la progression de part et d'autre. J'ai pu construire 4 couples de séries, dans lesquelles les intervalles croissent à peu près en progression arithmétique quand on va du rouge au violet, la raison de la progression étant la même pour les deux séries de chaque couple.

On trouvera dans les Tableaux suivants le développement de ces séries avec les intensités i , les longueurs d'onde λ , les fréquences de vibrations N des raies, les différences premières Δ_1 , et les différences secondes Δ_2 . Les raies observées dans le champ magnétique sont marquées d'un astérisque.

TABLEAU I. — *Doublets.**Première série.*

i .	λ .	N .	Δ_1 .	Δ_2 .
0	6909,76	14468,4		
0	820,38	658,0	189,6	6,7
1	730,4	854,3	196,3	13,5
1	636,48	15064,1	209,8	10,7
1	540,77	284,6	220,5	14,2
3	441,83	519,3	234,7	12,7
4	340,75	766,7	247,4	10,9
7	238,57*	16025,0	258,3	10,7
10	135,56*	294,0	269,0	10,4
10	032,14*	573,4	279,4	11,2
calculé	.....	864,0	290,6	9,2
1	5824,64	17163,8	299,8	10,8
0	721,11	474,4	310,6	

Seconde série.

<i>i.</i>	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
0	6814,5	14670,7	205,2	
0	720,5	875,9	214,7	9,5
1	624,84	15090,6	224,7	10,0
2	527,63	315,3	236,5	11,8
4	428,36	551,8	248,6	12,1
7	327,23	800,4	259,4	10,8
9	225,02*	16059,8	270,3	10,9
9	122,01*	330,1	280,7	10,4
7	018,53*	610,8	291,5	10,8
calculé	.....	912,3	299,6	8,3
1	5811,74*	17201,9	306,7	7,1
1	709,93	508,6		

TABLEAU II.

Série principale.

0	6903,47	14481,5	212,9	
0	805,3	694,4	223,0	10,1
1	701,74	917,4	228,2	5,2
0	600,77	15143,6	234,5	6,3
0	500,12	380,1	241,4	6,9
4	399,71	621,5	248,2	6,8
6	299,60	869,7	256,1	7,9
6	199,58*	16125,8	267,3	11,2
2	098,45*	393,1	274,1	6,8
1	5998,19	667,2	281,8	7,7
1	898,45	949,0	289,9	8,1
1	799,25	17238,9	297,6	7,7
1	700,84	536,5	304,1	6,5
2	603,66	840,6	308,1	4,0
1	508,51	148,7		

Série satellite.

1	6402,51	15614,6	247,9	
2	302,46	862,5	258,5	10,6
3	201,38*	16121,0	266,0	7,5
1	100,75	387,0	273,8	7,8
.	.....	660,8	281,1	7,3
1	900,92	941,9	290,5	8,4
1	801,45*	232,4	295,9	5,4
3	703,50	528,3		

TABLEAU III.
Série principale.

<i>i.</i>	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
0	6742,54	14827,2	36,0	
0	726,2	863,2	61,1	29,1
1	696,86	928,3	89,9	24,8
0	656,8	15018,2	118,7	28,8
1	604,57	136,9	147,7	29,0
1	540,77	284,6	177,8	30,1
0	465,54	462,4	206,6	28,8
3	380,30	669,0	236,2	29,6
4	285,56	905,2	263,3	27,1
6	183,19*	15168,5	288,9	25,6
2	074,66*	457,4	316,6	27,7
3	5959,98*	774,0	343,0	26,4
2	840,56	17117,0	372,0	29,0
1	718,86	489,0	401,5	29,5
1	588,03	890,5	430,3	28,8
1	456,79	18320,8		

Série satellite.

2	6283,20	15661,9	232,2	
1	289,93	894,1	259,3	27,1
calculé	.....	16153,4	291,5	32,2
1	079,28	444,9	318,7	27,2
1	5963,70*	763,6	339,5	20,8
0	845,31	17103,1	363,6	24,1
2	723,63	466,7		

TABLEAU IV.
Série principale.

1	6532,68	15303,5	96,1	
calculé	.....	399,6	136,1	40,0
2	435,02	535,7	176,7	40,6
3	362,67	712,4	219,3	42,6
4	275,10	931,7	260,1	40,8
5	174,28	16191,8	295,7	35,6
5	063,54*	487,5	336,5	40,8
1	942,24	824,0	377,9	41,4
1	811,74*	17201,9	420,6	42,7
2	673,02	622,5		

Série satellite.

λ .	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
2	6365,07	15706,5		
2	277,30	926,1	219,6	40,6
2	176,40	16186,3	260,2	32,0
1	066,89	478,5	292,2	38,3
3	5947,56*	809,0	330,5	52,2
4	815,18*	17191,7	382,7	37,0
1	676,60	611,4	419,7	

Les raies contenues dans ces Tableaux sont les seules que je suis arrivé à classer. Pour aller plus loin, il serait nécessaire de connaître l'effet Zeeman pour un plus grand nombre de raies, et aussi d'avoir dans la région des grandes longueurs d'onde un relevé complet, dont la précision soit du même ordre que celle que l'on a déjà pour les raies plus réfrangibles que H_α .

Les longueurs d'onde que je donne pour les raies comprises entre 6852 et 8023 sont déterminées avec trop peu de chiffres exacts pour permettre l'établissement de régularités bien définies. Sur mes clichés, le spectre présente une allure assez voisine de celle d'un spectre de bandes dégradées vers le violet. On observe en effet dans l'ensemble des raies photographiées des variations assez régulières d'intensité délimitant les groupes suivants

6967-6850	7409-7380
7056-6972	7467-7417
7116-7062	7545-7480
7196-7128	7615-7557
7270-7202	7746-7639
7315-7285	7827-7797
7366-7321	

où il est d'ailleurs impossible de trouver une loi précise de distribution. Néanmoins, l'aspect régulier du spectre permet d'espérer que lorsqu'on disposera de plaques assez

sensibles pour photographie avec un réseau les raies de cette région, on pourra prolonger jusque-là les séries déjà obtenues et peut-être en établir de nouvelles.

IV. — LE SPECTRE CATHODIQUE.

23. *Le spectre cathodique de l'hydrogène.* — Plusieurs observateurs, Reitlinger et Kühn ⁽¹⁾, Wüllner ⁽²⁾, puis plus récemment Liveing ⁽³⁾, ont étudié la lueur grise qui entoure l'électrode négative d'un tube de Geissler contenant de l'hydrogène à basse pression et parcouru par la décharge. Cette gaine cathodique a été étudiée également par M. Hemsalech ⁽⁴⁾ à la pression atmosphérique. Aucun de ces physiciens n'a signalé de raies autres que celles des deux spectres ordinaires de l'hydrogène, au moins lorsqu'on avait affaire à de l'hydrogène pur.

De mon côté, j'ai étudié la lueur négative produite à l'intérieur de l'électrode cylindrique du tube que j'ai fait construire pour l'étude des spectres cathodiques, et que j'ai décrit dans la première Partie. La lueur grise caractéristique était relativement intense, et j'ai pu prendre plusieurs photographies avec un spectrographe à un prisme de quartz. Mais, de même que les observateurs précédents, je n'ai pas obtenu de raies qui ne puissent être attribuées à des spectres connus, les deux spectres ordinaires de l'hydrogène et le spectre du mercure.

(1) REITLINGER et KUHN, *Pogg. Ann.*, t. CXLI, 1870, p. 131-141.

(2) WÜLLNER, *Pogg. Ann.*, t. CXLVII, 1872, p. 321-353.

(3) LIVEING, *Proceed. of. Phil. Soc. Cambridge*, t. XII, 1904, p. 338-349.

(4) G.-A. HEMSALECH, *Manchester Memoirs*, t. XLVIII, n° 10, 1904.

CHAPITRE II.

Oxygène.

I. — LES SPECTRES DE L'OXYGÈNE.

24. *Les spectres de l'oxygène dans le tube de Geissler.* — Depuis le travail de Schuster ⁽¹⁾, on distingue, dans la région lumineuse quatre spectres d'émission de l'oxygène, que l'on peut obtenir tous les quatre dans le tube de Geissler.

L'un de ces spectres consiste en un fond continu, plus intense aux hautes pressions, et s'observe surtout dans la partie large du tube.

Les trois autres spectres sont des spectres discontinus dont deux sont des spectres de ligne, le troisième étant un spectre de bandes.

Le premier spectre de lignes, appelé par Schuster *spectre composé*, s'obtient aux basses et aux moyennes pressions lorsque le tube est traversé par une décharge lente et que la couleur du capillaire est rouge.

Le second spectre de lignes, appelé par Schuster *spectre élémentaire*, s'obtient lorsqu'on fait éclater l'étincelle condensée d'une bobine d'induction dans une atmosphère d'oxygène à haute pression. Il apparaît aussi avec une grande intensité dans le tube de Geissler aux basses pressions, lorsque le circuit secondaire de la bobine, associé à un condensateur en dérivation, comprend une coupure à étincelle. Ce spectre est beaucoup plus riche en raies que le précédent; mais ces raies n'ont pu jusqu'à présent être groupées en séries, comme celles du spectre composé.

Lorsque la pression dans le tube devient très faible,

(1) A. SCHUSTER, *Phil. Trans.*, t. CLXX, 1879, p. 37-54.

le capillaire prend une belle couleur jaune et la lumière analysée au spectroscopie donne, en même temps que les raies du spectre composé, un spectre de bandes signalé par Schuster et attribué par lui à la gaine négative.

Outre ces spectres, dont la plus grande partie est comprise dans la région lumineuse et dont un certain nombre de raies se trouvent dans l'ultraviolet, V. Schumann a trouvé dans l'extrême ultraviolet un nouveau spectre de l'oxygène constitué par trois bandes diffuses dont la plus intense, qui est en même temps la plus réfrangible, se trouve vers 185μ .

25. *Spectres de l'oxygène étudiés dans ce travail.* — Je me suis limité dans ce travail aux trois spectres principaux de l'oxygène : le spectre composé, le spectre élémentaire et le spectre cathodique.

II. — LE SPECTRE COMPOSÉ.

26. *Circonstances de production du spectre composé.* — Tous les observateurs ont signalé que l'on obtenait le spectre composé de l'oxygène lorsque le tube est parcouru par une décharge lente. Le procédé le plus ordinairement employé consiste à faire passer dans le tube la décharge donnée par une bobine d'induction dont le circuit secondaire ne comprend ni capacité, ni coupure à étincelle. Mais dans la pratique on rencontre des difficultés. Lorsqu'en effet, la pression dans le tube est de l'ordre de 10^{cm} de mercure, les raies du spectre composé apparaissent larges sur un fond continu en même temps que celles du spectre élémentaire. Si alors on diminue progressivement la pression, le tube devient de moins en moins lumineux, jusqu'au moment où, la gaine négative envahissant tout le tube, celui-ci devient tout d'un coup très brillant. La lumière émise comprend alors à la fois

les bandes du spectre cathodique et les raies du spectre composé. Mais alors la pression est très basse et, l'oxygène se combinant rapidement avec les électrodes d'aluminium quand le tube est parcouru par la décharge, il est nécessaire de renouveler souvent le gaz contenu dans le tube.

Un procédé plus commode de produire le spectre composé m'a été suggéré par les beaux travaux de M. Hemsalech sur les spectres de l'étincelle de self-induction. M. Hemsalech a trouvé que, si l'on fait relater l'étincelle dans l'oxygène à la pression atmosphérique, le spectre élémentaire disparaît rapidement quand augmente la self-induction et que le spectre composé subsiste seul. J'ai cherché à produire dans le tube des conditions analogues à celles de l'étincelle de M. Hemsalech. A cet effet, j'ai mis en série dans le circuit secondaire de la bobine d'induction le tube à vide, une bobine de self-induction variable et une coupure à étincelle, un condensateur étant placé en dérivation sur ce circuit aux bornes de la bobine.

La capacité du condensateur employé était de 435.10^{-8} microfarads et la self-induction pouvait varier de 0,003 à 0,15 henry. Quand la self était mise en court circuit, l'étincelle produite dans la coupure du circuit du tube présentait l'aspect d'un trait de feu très fort qu'il était très difficile de dissocier par un courant d'air. Au contraire, dès que la bobine de self était introduite dans le circuit, le trait de feu devenait très mince et le courant d'air permettait de séparer plusieurs composantes des oscillations de la décharge, et ces oscillations paraissaient être d'autant plus lentes que la self-induction était plus grande.

D'autre part, le spectre donné par le tube a été examiné pour des pressions variant entre 4^{cm} et $0,1^{\text{cm}}$ et pour des self-inductions variant entre 0 et 0,15 henry. Dans

une première série d'expériences, conservant une self-induction constante et égale à 0,0469 henry, j'ai fait varier la pression. Le capillaire, d'abord rouge vif, a blanchi à mesure que la pression a décréu. Quant au spectre, il est resté le même depuis les pressions les plus hautes jusqu'à la pression où apparaissent les bandes négatives. Tous les clichés ont montré uniquement le spectre composé, et les raies de celui-ci, très intenses, sont restées également fines à toutes les pressions.

Dans une deuxième série d'expériences, maintenant une pression constante de 2^{cm}, j'ai fait varier la self-induction entre 0 et 0,15 henry. J'ai alors pu constater que le spectre obtenu est le seul spectre composé quand la self-induction était supérieure ou égale à 0,0469 henry. Mais quand la self-induction était seulement de 0,0153 henry, les raies du spectre élémentaire réapparaissaient, en même temps que l'étincelle à la coupure présentait les caractères de l'étincelle de capacité.

27. *Structure du spectre composé.* — Au point de vue de sa structure, le spectre composé de l'oxygène a été étudié surtout par Runge et Paschen ⁽¹⁾, qui, dans la région lumineuse, ont pu le résoudre à peu près complètement en six séries, trois séries de triplets et trois séries de doublets. Récemment, Paschen ⁽²⁾ a fait de ce spectre un relevé bolométrique dans le commencement de l'infrarouge. Il est arrivé à retrouver les premiers termes des séries des triplets et des doublets, calculés d'après les formules de Ritz, qui se trouvent vérifiées d'une façon remarquable.

28. *Le phénomène de Zeeman dans le spectre composé.* — L'étude du phénomène de Zeeman sur le spectre com-

⁽¹⁾ RUNGE et PASCHEN, *Wied. Annal.*, t. LXI, 1897, p. 641-686.

⁽²⁾ PASCHEN, *Ann. der. Phys.*, 4^e série, t. XXVII, 1908, p. 537-570.

posé de l'oxygène est encore très peu avancée, malgré l'intérêt que présente la recherche des caractères des changements magnétiques correspondant aux différents types de séries ⁽¹⁾.

Tout récemment cependant MM. Paschen et Back ⁽²⁾ ont étudié les variations avec l'intensité du champ magnétique de l'effet Zeeman subi par le triplet 3947,438-7,626-7,731 de la série principale des triplets. Ils ont vu que, lorsque le champ devient assez intense pour que les composantes magnétiques de chacune des raies du triplet viennent à s'enchevêtrer, l'ensemble des trois raies du triplet naturel ne donne plus qu'un seul triplet magnétique qui tend à devenir un triplet normal à mesure qu'augmente le champ. Il y a là un fait tout nouveau et qu'il importerait de rechercher dans les autres triplets et sur les doublets du spectre.

III. — LE SPECTRE ÉLÉMENTAIRE.

29. *Historique.* — Le spectre élémentaire de l'oxygène a fait l'objet d'un grand nombre de travaux. Les uns ont eu pour objet la détermination des longueurs d'onde. Ce sont les plus nombreux, et, actuellement, nous possédons de bons relevés de ce spectre dans la région qui va de 5206 jusque dans l'extrême ultraviolet. Par contre, nous n'avons que des données très peu nombreuses sur la région de plus grandes longueurs d'onde.

Les autres se rapportent aux variations de ce spectre corrélatives des variations de la décharge. Parmi ces derniers, il faut faire une place à part aux travaux de

⁽¹⁾ COTTON, *Radium*, t. VIII, 1911.

⁽²⁾ PASCHEN et BACK, *Ann. der Phys.*, 4^e série, t. XXXIX, 1912, p. 897-932.

M. Hemsalech qui, le premier, a montré que, dans l'étincelle à la pression atmosphérique, les raies du spectre élémentaire s'affaiblissaient pour disparaître ensuite assez rapidement quand on augmente la self-induction du circuit de décharge.

Dans ces recherches, je me suis proposé de faire un relevé plus complet du spectre dans la région des grandes longueurs d'onde et de chercher les régularités qui pourraient se trouver dans la distribution de ces raies. A cet effet, j'ai étudié leurs variations et, en particulier, les changements qu'elles subissent dans le champ magnétique.

30. *Le spectre élémentaire dans la région des grandes longueurs d'onde et ses variations avec la pression.* — J'ai indiqué dans le paragraphe précédent que les raies du spectre élémentaire disparaissaient très vite quand on augmente la self-induction du circuit de décharge. Cette propriété fournit un critérium commode pour distinguer les raies du spectre élémentaire de celles du spectre composé. Les variations de la pression ont une influence beaucoup moins caractéristique.

Dans mes expériences je me suis limité à la portion du spectre allant de $\lambda 5000$ jusque dans l'extrême rouge et j'ai fait varier la pression dans le tube de Geissler depuis $3^{\text{cm}},5$ de mercure jusqu'à moins de 1^{mm} , le circuit de décharge comprenant seulement un condensateur en dérivation et une coupure à étincelle.

A la pression la plus élevée, le spectre contient avec les raies connues du spectre composé se détachant sur un fond continu, un certain nombre d'autres raies pour la plupart extrêmement diffuses. A mesure que la pression diminue, ces raies diffuses deviennent de plus en plus étroites, tandis que les raies qui étaient fines diminuent d'intensité par rapport aux précédentes pour dispa-

raître finalement ⁽¹⁾. D'ailleurs, toutes ces raies, diffuses ou étroites, disparaissent aussitôt qu'on introduit dans le circuit de décharge la self-induction de 0,0469 henry. Ce sont donc des raies du spectre élémentaire.

J'ai mesuré leurs longueurs d'onde sur des clichés pris avec un spectrographe à un prisme et à miroirs de 60^{cm} de distance focale. Dans la région intéressée, 1^{mm} sur la plaque photographique correspond en moyenne à 125 Å. U. Les longueurs d'onde ne peuvent par suite être données avec plus de quatre chiffres exacts. Le Tableau suivant donne le résultat de mes mesures avec, en regard, les longueurs d'onde données pour quelques-unes de ces raies par Plücher et Hittorf, Piazzzi-Smith, Runge et Paschen.

<i>i.</i>	λ .	Observations.	<i>i.</i>	λ .	Observations.
		Wilde : 716;	2	6353,8	
2	7152,3	R. et P. : 7157.	2	6326,7	
		fine	1	298,5	
0	055,3		5	265,0	
1	6968,0	fine	3	234,8	
1	53,5	fine	2	217,7	
1	05,9	fine	5	115,5	P. Smith 6103;
1	892,7	fine	5	105,5	R et P. 6107.
0	867,7		1	068,9	
0	46,4		1	022,4	
3	718,5	fine	3	5991,6	fine
5	652,0	fine	1	879,0	
4	636,1	fine	0	572,8	
2	606,7		0	410,8	
5	564,6		0	386,4	
5	549,4	fine	2	5316,3	Pl. et Hitt. 5315
4	373,7				

Les intensités données dans ce Tableau se rapportent à une pression de 1^{cm}.

(1) Ce fait se retrouve d'ailleurs dans la partie plus réfrangible du spectre.

31. *Le phénomène Zeeman dans le spectre élémentaire.* —

La structure du spectre élémentaire est complètement inconnue. Pensant que l'étude de l'effet Zeeman fournirait des indications à ce point de vue, j'ai étudié dans le champ magnétique toutes les raies moins réfrangibles que $\lambda 3700$ et assez intenses pour être photographiées avec un appareil de grande dispersion. Tout le dispositif et l'intensité du champ magnétique sont restés les mêmes que dans les expériences relatives à l'hydrogène. Le Tableau suivant donne les résultats de mes observations et de mes mesures. Les longueurs d'onde et les intensités sont données d'après les Tables publiées par Lunt ⁽¹⁾.

<i>i.</i>	λ .	$\Delta\lambda$.		$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} \cdot 10^{-4}$.		Observations
		Vibr. paral.	Vibr. perp.	Vibr. paral.	Vibr. perp.	
6	4943,45		0,61		1,04	
4	4941,22		0,485		0,81	
6	24,95		0,70		1,19	
5	07,27		0,985		1,695	
3	891,05					Triplet faible non mesurable.
4	4871,88					Triplet faible non mesurable.
2	4709,97		0,82		1,54	
6	05,32		0,565		1,06	
1	03,4		0,435		0,815	
1	01,5		0,70		1,315	
5	699,19		0,64		1,19	
5	76,22	0,27	0,74	0,51	1,395	
5	61,64	0,41	0,735	0,79	1,40	
5	50,95	0,65	0,66	1,24	1,27	
9	49,06		0,59		1,13	
8	41,84		0,51		0,985	

(1) LUNT, *Ann. Cape Observatory*, t. X₂, 1906, p. 5.B-43.B.

<i>i.</i>	λ .	$\Delta\lambda$.		$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda_2} \cdot 10^{-4}$.		Observations.
		Vibr. paral.	Vibr. perp.	Vibr. paral.	Vibr. perp.	
5	4638,88	0,40	$\left\{ \begin{array}{l} 0,96 \\ 0,235 \end{array} \right\}$	0,76	$\left\{ \begin{array}{l} 1,86 \\ 0,45 \end{array} \right\}$	Dans le quadruplet des vibr. perp. les composantes extrêmes sont beaucoup plus faibles que les deux composantes intérieures. Raie très diffuse; élargissement de la raie de vibrations perpendiculaires. La raie de vibrations parallèles est dégradée vers le violet. Superposition des composantes voisines de deux doublets de vibrations parallèles très rapprochées; le doublet 0,62 appartient seul sans doute à 4596.
2	09,40					
7	596,05		$\left\{ \begin{array}{l} 0,32 \\ 0,27 \end{array} \right\}$		$\left\{ \begin{array}{l} 0,62 \\ 0,52 \end{array} \right\}$	
8	90,91		0,51		0,995	
2	469,48		0,58		1,21	
3	67,88		0,90		1,88	
3	66,7		0,66		1,36	
4	65,97		0,60		1,245	
3	52,41	0,34	0,49	0,70	1,02	
9	17,02		0,37		0,78	
10	15,18		0,48		1,015	
3	396,04		0,50		1,08	Très faible.
2	69,36		0,33		0,72	Très faible.
6	67,03		0,65		1,42	
7	51,35		0,50		1,10	La composante violette du doublet est plus faible que l'autre.
8	49,52		0,68		1,48	
6	47,54		0,36		0,80	La composante centrale est légèrement dégradée vers le violet.
6	45,75	0,21	$\left\{ \begin{array}{l} 0,93 \\ 0,525 \end{array} \right\}$	0,46	$\left\{ \begin{array}{l} 2,04 \\ 1,15 \end{array} \right\}$	

Les composantes extrêmes du quadruplet de vibrations perpend. sont faibles.

<i>i.</i>	λ .	$\Delta\lambda$.		$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} \cdot 10^{-4}$.		Observations.
		Vibr. paral.	Vibr. perp.	Vibr. paral.	Vibr. perp.	
3	4342,01		0,445		0,98	Raie diffuse.
3	36,91		0,71		1,565	
0	28,88		0,37		0,82	
1	25,90		1,11		2,456	
6	19,79		0,62		1,37	
6	17,25	0,205	$\left\{ \begin{array}{l} 0,94 \\ 0,51 \end{array} \right\}$	0,46	$\left\{ \begin{array}{l} 2,09 \\ 1,13 \end{array} \right\}$	Les composantes extrêmes du quadruplet de vibrations perpend. sont faibles. Triplet diffus. Raie diffuse, on voit seule- ment un élargissement de la composante de vibrations perpendiculaires.
3	275,77					
4	54,24					
8	190,08		0,39		0,93	
8	85,70		0,35		0,83	Quadruplet diffus.
3	69,43		0,64		1,53	
6	53,64		0,57		1,36	
3	46,30		0,44		1,06	
5	33,06	0,19	0,42	0,45	1,03	
2	21,64		0,68		1,65	
6	20,61	0,42	0,35	1,03	0,86	
8	19,51		0,44		1,07	
3	12,22	0,48	douplet égal	1,18		
3	10,95		0,76		1,87	
6	05,15		0,595		1,46	Très faible. Très faible. La composante rouge du dou- blet est beaucoup plus fai- ble que l'autre. Triplet très faible non mesu- rable.
2	096,65					
4	93,11	0,26	0,64	0,50	1,24	
5	89,43		0,445		1,10	
2	87,33					
5	85,32	0,275	0,50	0,68	1,235	La raie de vibrations paral- lèles est élargie et diffuse.
4	79,01	0,48		1,20		
10	76,09		0,44		1,09	

i.	λ .	$\Delta\lambda$.		$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} \cdot 10^{-4}$.		Observations.
		Vibr. paral.	Vibr. perp.	Vibr. paral.	Vibr. perp.	
2	4073,55		0,51		1,26	
10	72,45		0,40		1,01	
10	70,07		0,36		0,89	Ce triplet est accompagné de la raie 4069,80 du 2 ^e spectre de l'hydrogène qui n'est pas dédoublée.
6	3982,93		0,54		1,40	
9	73,51		0,45		1,19	
7	54,64		0,25		0,65	
6	45,26		0,52		1,38	
7	12,19		0,25		0,68	
6	882,37		0,46		1,27	
0	57,37		0,505		1,41	
7	749,63		0,38		1,12	
6	3727,49		0,59		1,75	

L'examen de ce Tableau montre tout de suite que la plupart des raies du spectre élémentaire donnent dans le champ des triplets et que les écarts des composantes latérales sont très variés. On peut remarquer cependant en groupant ensemble les raies qui présentent des écarts à peu près égaux que les groupes les plus nombreux sont ceux qui donnent des valeurs de $\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} \cdot 10^{-4}$ voisines de 1,06 et de 1,40 ⁽¹⁾. On n'a d'ailleurs pas entre les longueurs d'onde de ces groupes de raies des relations qui correspondent aux types déjà connus de régularités.

IV. — LE SPECTRE CATHODIQUE.

31. *Historique.* — Le spectre cathodique de l'oxygène, découvert par Reitlinger et Kühn ⁽²⁾, retrouvé par Wüllner ⁽³⁾,

⁽¹⁾ A. COTTON, *Radium*, t. VIII, 1911.

⁽²⁾ REITLINGER et KUHN, *Pogg. Ann.*, t. CXXI, 1870, p. 131-141.

⁽³⁾ WÜLLNER, *Pogg. Ann.*, t. CXLVII, 1872, p. 321-353; *Wied. Ann.*, t. VIII, 1879, p. 253-266.

a été décrit par Schuster ⁽¹⁾ comme formé de cinq bandes, dans lesquelles l'intensité décroît, d'une façon à peu près symétrique, à partir du centre de chacune d'elles, et dont les quatre plus réfrangibles sont comprises entre les longueurs d'onde 6010-5960, 5900-5840, 5630-5553, 5292-5205. Depuis, de nouvelles bandes ont été mesurées. La première, située dans le rouge et déjà signalée par Schuster, a été mesurée par Schniederjost ⁽²⁾ : elle se trouve entre 6412 et 6357. Au cours de ses recherches sur les rayons canaux, Stark ⁽³⁾ en a trouvé une autre plus réfrangible que les précédentes et dont la tête serait au voisinage de $\lambda 500\mu$. Steubing ⁽⁴⁾, qui a donné récemment un relevé complet du spectre cathodique, à l'exception de la bande 500, a d'ailleurs montré que les deux bandes de Schuster 5900-5840 et 6010-5960 ne forment en réalité qu'une seule et même bande.

Malgré les données qui résultent de l'ensemble de ces travaux, la structure du spectre cathodique de l'oxygène est encore mal connue. Si en effet, tel qu'il apparaît dans la belle photographie de Steubing, le spectre offre bien l'aspect d'un groupe de bandes régulier, il n'a pas été possible de le représenter par la formule ordinaire des spectres de bandes. Le nombre des bandes mesurées avec précision était trop petit pour permettre d'établir avec certitude une régularité : on ne savait d'ailleurs pas quelle était la structure de ces bandes. Les uns, Stark et Steubing, les disaient dégradées vers le violet, tandis que d'autres ^(*), fondant leur opinion sur la distribution de l'intensité à l'intérieur de chaque bande, les voyaient

(1) SCHUSTER, *Phil. Transact.*, t. CLXX, 1879, p. 37-54.

(2) SCHNIEDERJOST, *Zeits. für weis. Photog.*, t. II, 1904, p. 265-285.

(3) STARK, *Ann. der Phys.*, 4^e série, t. XXVI, 1908, p. 806-832.

(4) STEUBING, *Ann. der Phys.*, 4^e série, t. XXXIII, 1910, p. 539-584.

(*) KAYSER, *Traité de Spectroscopie*, t. VI, 1912, p. 218-219.

dégradées vers les grandes longueurs d'onde. Pour trancher le différent, il était nécessaire de considérer le sens des séries de raies qui constituent les bandes. Mais ces bandes n'avaient pas encore pu être résolues, à cause de leur peu d'intensité.

Dans les recherches que j'ai entreprises je me suis donc proposé d'une part de chercher la loi de distribution de l'ensemble des bandes du spectre. A cet effet, j'ai cherché s'il n'y aurait pas des bandes plus ou moins réfrangibles que celles que l'on connaissait déjà. D'autre part j'ai essayé de résoudre en raies les plus intenses de ces bandes, afin de déterminer les séries et de voir de quel côté la tête de chaque bande se trouve réellement.

32. *Circonstances de production du spectre cathodique de l'oxygène.* — Pour produire le spectre cathodique avec le maximum d'intensité possible, ce qui est évidemment nécessaire pour la recherche de bandes nouvelles, il est indispensable que le tube de Geissler contienne de l'oxygène privé de toutes trace d'impuretés carbonées. Je suis arrivé à réaliser cette condition d'une façon assez satisfaisante; mais il m'a toujours été impossible d'éliminer la bande $\lambda 3063$ attribuée généralement à la vapeur d'eau.

Pour étudier les bandes cathodiques, j'ai d'abord employé un tube spécialement construit pour observer dans les meilleures conditions d'intensité la lueur négative. Mais, dans le cas de l'oxygène, un tube spécial n'est pas nécessaire. Lorsque la pression de l'oxygène est supérieure à 2^{mm} et que le tube de Geissler est parcouru par la décharge ordinaire d'une bobine d'induction, le tube s'illumine très faiblement. Mais lorsque la pression diminue, on voit soudainement le capillaire prendre une couleur rosée, qui, analysée au spectroscopie, donne très intenses les raies du spectre composé et encore faibles les

bandes négatives. Si la pression décroît encore jusqu'à ce que l'espace obscur entre la cathode et à lucre négative — espace obscur de Hittorf — atteigne une grandeur de 3^{mm} environ, la couleur du capillaire change et de rose devient jaune brillant. Dans le spectre que l'on obtient alors, les bandes négatives sont relativement très intenses; elles sont d'ailleurs toujours accompagnées des raies du spectre composé.

On peut encore obtenir les bandes négatives dans les tubes d'oxygène à basse pression avec la décharge condensée, pourvu que le circuit électrique présente une self-induction suffisante. J'ai indiqué, dans le paragraphe relatif aux circonstances de production du spectre composé, que dans ces conditions on obtient seulement les raies du spectre composé, tant que la pression ne descend pas au-dessous d'une certaine limite. J'ai trouvé en employant une self-induction de 0,0469 henry que les bandes négatives apparaissent lorsque l'espace obscur de Hittorf atteint 3^{mm}. J'ai alors fait une série d'épreuves, en maintenant la pression dans le tube aux environs de cette valeur, et en employant des self-inductions graduellement croissantes, la capacité du condensateur en dérivation sur le circuit secondaire étant toujours la capacité de résonance et égale à $435 \cdot 10^{-5}$ microfarads. Lorsque la bobine de self-induction est supprimée, on obtient avec les raies du spectre composé les raies du spectre élémentaire. On voit même apparaître les parties les plus intenses des bandes négatives, dues sans doute à ce que la self-induction du secondaire de la bobine n'est jamais négligeable. Lorsque la bobine de self-induction est introduite, l'intensité des bandes et leur largeur croissent en même temps que le nombre des spires mises dans le circuit. Avec la self de 0,0469 henry, les bandes négatives sont très intenses, et, alors que dans les conditions ordinaires elles restent toujours assez étroites et séparées les unes des autres par de

larges intervalles obscurs, elles apparaissent alors très larges et se rejoignent presque complètement si l'on augmente encore la self-induction. Cet élargissement des bandes ne se produit d'ailleurs pas d'un seul côté : elles s'étendent un peu vers le rouge, et l'on observe outre les composantes mesurées par Steubing une ou deux têtes secondaires moins réfrangibles et plus faibles. Mais c'est surtout vers le violet que les bandes s'étendent d'une façon considérable et que l'on observe le plus grand nombre de composantes nouvelles. C'est ainsi que pour les bandes 6425 et 6032 de Steubing, que j'ai obtenues particulièrement intenses, on observe les composantes nouvelles suivantes :

<i>Bande 6425 (¹).</i>		<i>Bande 6032.</i>	
1	6484	1	6079
1	436	....	} composantes ordinaires.
....	} composantes ordinaires.	....	
2	6290	2	5834
1	261	2	17
1	107	1	794
		1	74
		1	687 très diffuse.

33. *Bandes nouvelles du spectre cathodique.* — Dans la recherche des bandes nouvelles, je n'ai pas employé pour produire le spectre la décharge de self-induction. Dans ces conditions en effet, l'oxygène est très vite absorbé par les électrodes, et il est très difficile de maintenir pendant longtemps la pression convenable dans le tube. J'ai simplement utilisé la décharge ordinaire de la bobine, et j'ai pu ainsi pendant plusieurs heures maintenir constante la pression.

J'ai d'abord cherché les bandes dans l'extrême rouge,

(¹) La bande 6425 est précédée en outre de quelques composantes très faibles, 6614, 6580, 6535, 6517 qui semblent appartenir à une bande encore moins réfrangible.

en me servant du spectroscope à un prisme et à miroirs, et en employant des plaques préparées suivant la formule indiquée dans la première Partie. J'ai obtenu ainsi une nouvelle bande, qui comme les autres, présente deux maxima principaux dont l'un se trouve à 62 Å. U. à partir du bord le moins réfrangible, et l'autre 96 Å. U. plus loin. Malgré la faible dispersion de mon spectrographe, la définition était assez bonne pour permettre de séparer 11 composantes, qui sont elles-mêmes des bandes étroites ou plutôt des groupes de raies plus intenses et non séparées. Voici avec une estimation approximative des intensités relatives, le relevé des longueurs d'onde de ces composantes :

<i>i.</i>	λ .	<i>i.</i>	λ .	<i>i.</i>	λ .
4	6853,6	6	6791,3	5	6695,2
4	37	3	72	2	670
4	26	3	51	1	622
4	09	3	15	0	567

J'ai ensuite essayé de trouver des bandes plus réfrangibles. Dans ce but, j'ai employé un petit spectrographe à un prisme de verre et dont les objectifs du collimateur et de la chambre photographique avaient seulement 35^{cm} de distance focale. J'ai ainsi retrouvé la bande signalée par Stark, mais je n'ai pas obtenu de bandes nouvelles dans cette région. Cette bande est d'ailleurs extrêmement faible. On peut voir cependant qu'elle a l'allure des précédentes et j'ai pu y distinguer cinq composantes dont voici les longueurs d'onde. :

<i>i.</i>	λ .	<i>i.</i>	λ .	<i>i.</i>	λ .
0	5007	0	4992	1	4977
0	5000	1	4984	0	4960

On peut remarquer que la distance de ces composantes est à peu près constante, sauf pour les deux der-

nières entre lesquelles il doit y en avoir une autre qui est cachée par la raie 4968 du spectre composé.

35. *Résolution des principales bandes négatives.* — Après avoir ainsi complété le spectre cathodique de l'oxygène, j'ai cherché à photographier celles de ses bandes qui sont les plus intenses avec un appareil de dispersion assez grande pour les résoudre en raies. A cet effet, j'ai remplacé dans le spectrographe à miroirs la prisme par un réseau Rowland plan. Avec une durée de pose de 8 heures j'ai pu obtenir dans de bonnes conditions les bandes 5646, 6032 et surtout la bande 6425, en utilisant le spectre du premier ordre du réseau. Les bandes apparaissent alors résolues en séries de raies dont les intervalles vont en croissant quand on va du rouge au violet. On peut donc dire avec certitude que *les bandes négatives de l'oxygène ont leurs têtes du côté du rouge et se développent vers le violet*. Chacune de ces bandes a d'ailleurs plusieurs têtes, dont la plus intense est celle qui se trouve à peu près au centre de la bande, la plus faible étant celle qui se trouve au commencement.

Le Tableau suivant donne, avec leurs intensités relatives appréciées à l'estime, les longueurs d'onde des raies que j'ai mesurées.

1^{re} Bande 6427.

λ .	i .	Observations.	λ .	i .	Observations.
6427,68	1		6403,70	2	
.....		Raies très faibles.	02,11	3	
18,73	4		00,39	2	
17,91	1	Incomplètement séparées.	397,64	4	
16,76	1		95,43	3	
15,25	1		92,97	5	
13,42	2		90,49	4	
11,31	2		88,79	1	
08,83	2		86,74	3	
05,13	6		83,61	2	

λ .	i .	Observations.	λ .	i .	Observations.
6482,62	6		6343,08	5	
81,32	2		40,09	1	
79,35	4		38,09	3	
77,17	2	Diffuse.	36,79	3	
74,98	0		35,72	0	
73,58	5		32,18	2	
72,21	1		29,97	0	
70,59	1		27,98	0	
68,97	3	Diffuse.	25,58	2	
6367,13	4		22,61	0	
65,09	2		.....		Raies très faibles.
63,41	2		18,97	1	Diffuse.
60,50	8		.....		Raies très faibles.
57,70	3		10,75	1	Diffuse.
55,38	1		03,11	1	Diffuse.
53,76	2		.....		Raies très faibles.
51,44	5		93,48	0	
49,31	1		91,27	0	
47,53	5				

2^e Bande 6032.

6032,76	1		5994,09	6	
.....		Raies faibles.	91,39	5	
26,42	5		89,18	1	
25,62	1	Incomplètement résolues.	86,92	2	
24,58	1		85,06	2	
23,27	1		82,15	5	Diffuse.
21,63	1		81,23	4	Diffuse.
19,72	2		79,97	2	
17,51	2		77,24	1	
14,56	6		74,89	8	
11,89	1		72,68	2	
10,11	1		70,42	3	
07,74	2		68,66	2	
05,85	2		67,10	3	
03,97	4		63,50	2	Diffuse.
01,73	3		59,74	4	Diffuse.
00,06	2		58,10	1	
5998,08	0		55,09	3	Diffuse.
95,49	2	Diffuse.	50,92	1	

λ .	i .	Observations.	λ .	i .	Observations.
5947,79	1		5888,16	0	
44,24	1		83,09	1	
40,31	1	Diffuse.	75,93	2	
31,20	1	Diffuse.	74,43	2	
25,41	1		72,59	0	
22,71	0		70,24	1	
18,75	0	Diffuse.	68,00	0	
14,32	1		65,46	1	
07,03	0		62,03	0	
03,06	0		57,85	0	
898,07	0		52,96	0	
94,51	1		47,81	0	
92,67	0		41,84	0	
89,73	1		35,01	0	

3° *Bande* 5646.

.....		Raies faibles.	5599,30	2	Diffuse.
5631,78	5		95,66	3	
31,23	1		93,93	4	
30,34	1		91,30	2	Diffuse.
29,19	1		89,02	0	
27,74	2		87,31	5	
26,14	2		84,62	1	
24,38	2		82,99	1	
22,16	6		80,31	4	
20,40	1		77,16	1	Diffuse.
18,37	2		73,98	0	Diffuse.
15,44	5		71,08	0	Diffuse.
13,52	1		68,45	0	
11,78	3		66,28	0	
09,94	1		63,86	0	
08,23	2		61,66	0	
05,51	2		58,95	0	
03,89	6		52,30	0	
02,15	2		45,52	0	

36. *Structure des bandes négatives.* — Les bandes négatives ainsi résolues semblent se diviser naturellement en plusieurs parties, commençant chacune par une tête

d'où partent une ou plusieurs séries de raies. La première tête du côté rouge est très faible et dans aucune des bandes que j'ai obtenues je n'ai pu mesurer les raies, à peine visibles, qui la suivent. La deuxième tête, beaucoup plus intense, est suivie dans les trois bandes que j'ai mesurées d'une série de raies facile à reconnaître. On trouve ensuite une troisième tête encore plus forte que la précédente et qui commence une série de doublets. Vient enfin une quatrième tête, la plus intense, d'où partent deux séries de raies qui vont en s'affaiblissant jusque vers la fin visible de la bande. Jusque-là, les bandes négatives présentent une remarquable analogie de structure. Mais, à la place qui correspond à la fin des autres bandes, la bande 6032 se prolonge par une nouvelle série de raies.

J'ai cherché dans ces diverses bandes partielles à grouper les raies en séries arithmétiques. Pour réussir complètement, il eût sans doute été avantageux d'avoir un spectre encore plus dispersé, car plusieurs raies que j'ai indiquées comme fortes ou larges sont certainement doubles. Mais, malgré plusieurs essais, je n'ai jamais pu obtenir de photographie satisfaisante de ce spectre dans le deuxième ordre du réseau. D'ailleurs les résultats que j'ai obtenus suffisent déjà pour donner au moins en première approximation le sens du développement général des séries.

La partie de la bande, qui se trouve entre la deuxième et la troisième tête, est constituée, d'une façon très simple, par une série de raies dont les intervalles vont régulièrement en croissant en progression arithmétique, la raison de la progression étant d'ailleurs la même pour les trois bandes étudiées.

<i>Bande 6427.</i>				<i>Bande 6032.</i>			
λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
6418,73	15575,1	2,0		6026,42	16589,0	2,2	
17,91	77,1	2,8	0,8	25,62	91,2	2,9	0,7
16,76	79,9	3,7	0,9	24,58	94,1	3,6	0,7
15,55	83,6	4,4	0,7	23,57	97,7	4,5	0,9
13,42	88,0	5,1	0,7	21,63	102,2	5,3	0,8
11,31	93,1	6,0	0,9	19,72	107,5	6,1	0,8
08,83	99,1			17,51	113,6		

Bande 5646.

λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
5631,78	17751,5	1,7		5629,19	17759,6	4,6	1,0
31,23	53,2	2,8	1,1	27,74	64,2	5,0	0,4
30,34	56,0	3,6	0,8	26,14	69,2	5,6	0,6
29,19	59,6		1,0	24,38	74,8		

La partie de chaque bande comprise entre la troisième et la quatrième tête présente un aspect beaucoup plus compliqué. On a d'abord une suite de doublets dont la succession paraît assez régulière; mais, après le cinquième doublet, on voit apparaître d'autres raies qui troublent la régularité de l'ensemble. L'aspect de cette troisième partie indique dans les trois bandes un même mode de distribution des raies et des intensités. Mais, si l'écart entre les raies, exprimé en nombre de vibrations, reste le même, leur distance en longueurs d'onde diminue un peu, de même d'ailleurs que la dispersion du réseau, à mesure qu'on avance vers les courtes longueurs d'onde. Aussi, tandis qu'il est possible de suivre les raies individuellement dans la première bande, cela devient plus difficile dans la deuxième et la tâche est presque impossible dans la troisième, où la résolution des raies n'est déjà plus suffisante. C'est pourquoi dans l'établissement des séries relatives à cette troisième partie je me suis limité à la première et à la deuxième bande.

On a d'abord une première série de doublets qu'il est

facile de retrouver dans les deux bandes considérées, mais qui sont mieux séparés dans la bande 6427.

Bande 6427.

λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
6405,13	15608,2	7,3		6403,70	15611,7	7,9	
02,11	15,5	10,9	3,6	00,39	19,6	12,2	4,3
397,64	26,4	15,5	4,6	395,43	31,8	16,3	4,1
.....	41,9	18,9	3,4	88,79	48,1	18,3	2,0
83,61	60,8	21,2	2,3	81,32	66,4	22,4	4,1
74,98	82,0	24,4	3,2	72,21	88,8		
65,09	706,4						

Bande 6032.

λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
6014,56	16621,7	7,4					
11,89	29,1	11,5	4,1	6010,11	16634,0	11,8	
07,74	40,6	15,5	4,0	05,85	45,8	16,1	4,3
	56,1	18,5	3,0	00,06	61,9	19,5	3,4
5995,49	74,6	23,8	5,3	.....	81,4	22,2	2,7
86,92	98,4	27,1	3,3	85,06	03,6		
77,24	725,5						

Après cette première série de doublets on en distingue une autre qui commence un peu plus loin vers le violet que celle-ci et qui est particulièrement intense dans la bande 6032.

Bande 6427.

λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
6392,97	15637,9	15,2		6390,49	15643,9	19,3	
86,74	53,1	18,2	3,0	82,62	63,2	22,2	2,9
79,35	71,3	21,5	3,3	73,58	85,4	25,1	2,9
70,59	92,8			63,41	710,5		

Bande 6032.

λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
6003,97	16651,0	16,3		6001,73	16657,3	21,1	
98,08	67,3	18,7	2,4	94,09	78,4		
91,39	86,0						

Il reste encore quelques raies faibles et diffuses, qui appartiennent peut-être à d'autres séries plus faibles et qu'il m'a été impossible de grouper.

La partie de la bande qui commence à partir de la quatrième tête est beaucoup plus simple que la précédente. On y distingue tout de suite deux séries de raies fortes qui se retrouvent identiques dans les deux bandes considérées.

Première série.

Bande 6427.				Bande 6032.			
λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
6360,50	15717,7	12,6		5974,89	16732,1	12,5	
55,38	30,3	19,5	6,9	70,42	44,6	19,4	6,9
47,53	49,8	23,6	4,0	63,50	64,0	23,7	4,3
38,09	73,4	31,1	7,6	55,09	87,7	30,6	6,9
25,58	804,5	37,1	6,0	44,24	818,3	37,0	6,4
10,75	41,6	42,7	5,6	31,20	55,3	42,6	5,6
293,48	84,3			.....	97,9		

Deuxième série.

Bande 6427.				Bande 6032.			
λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
6357,70	15724,6	15,5		5972,68	16738,3	15,6	
51,44	40,1	20,8	5,3	67,10	53,9	20,7	5,1
43,08	60,9	28,1	7,3	59,74	74,6	26,9	6,2
32,18	88,0	33,0	4,9	50,92	99,5	30,0	3,1
18,97	21,0	39,8	6,8	40,31	29,5		
03,11	60,8			.....			

Puis viennent deux séries de raies plus faibles qui se distinguent bien dans la bande 6427.

Troisième série.

λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
6353,76	15734,4	11,0	
49,31	45,4	13,6	2,6
	59,0	17,5	3,9
36,79	76,5	22,0	4,5
27,98	98,5		

Quatrième série.

λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
6340,09	15769,9	9,2	
35,72	79,1	14,4	5,2
29,97	93,5	18,4	4,0
22,61	11,9		

Dans la bande 6032, où la résolution est moins bonne, les raies correspondant à ces deux dernières séries sont trop séparées pour qu'il soit facile de les identifier. Par contre, les raies qui suivent la cinquième tête, particulière à cette bande, se détachent assez nettement et se groupent naturellement en deux séries.

<i>Première série.</i>				<i>Deuxième série.</i>			
λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
5875,93	17013,9	4,3		5868,00	17036,9	7,4	
74,43	18,2	5,3	1,0	65,46	44,3	9,9	2,5
72,59	23,5	7,9	2,6	62,03	54,2	12,2	2,3
70,24	30,4			57,85	66,4	14,2	2,0
				52,96	80,6	15,1	0,9
				47,81	95,7	17,4	2,3
				41,84	113,1	20,1	2,7
				35,01	33,2		

37. *Structure du groupe des bandes négatives.* — Il résulte des Tableaux ci-dessus que les raies des bandes négatives peuvent se ranger avec une approximation assez grande en séries formées suivant la loi de Deslandres. Cette loi s'applique aussi en général à l'ensemble des têtes de bandes d'un même groupe, j'ai cherché quelle pouvait être, d'après elle, la distribution des bandes négatives.

En calculant les nombres de vibrations correspondant aux longueurs d'onde 6854, 6427, 6032, 5646, 5296, 5007 des premières têtes des six bandes actuellement connues, on voit tout de suite qu'on n'a pas affaire à une seule série. Mais alors le nombre des têtes qu'on peut grouper ensemble est trop petit pour qu'on puisse aboutir avec certitude à une classification naturelle. Tout ce qu'on peut dire actuellement, c'est que les six bandes négatives de l'oxygène forment un groupe de bandes de structure semblable et constituées par des séries de raies qui commencent du côté du rouge et se développent vers le violet.

CHAPITRE III.

Azote.

I. — LES SPECTRES DE L'AZOTE.

38. *Les spectres de l'azote dans le tube de Geissler.* —

Les spectres de l'azote ont été reconnus et séparés par Angström ⁽¹⁾, Dove ⁽²⁾, Van der Willigen ⁽³⁾, Plücker et Hittorf ⁽⁴⁾, Angström et Thalen ⁽⁵⁾, Piazz-Smith et A. Herschel ⁽⁶⁾. Mais c'est surtout aux travaux de M. Deslandres que nous devons la connaissance déjà très avancée que nous avons de ces spectres.

Lorsqu'un tube de Geissler, contenant de l'azote à la pression de quelques millimètres de mercure, est parcouru par la décharge condensée d'une bobine d'induction, on obtient un spectre de lignes qui s'étend depuis le rouge jusqu'à l'ultraviolet. Ce spectre, que l'on obtient aussi à la pression atmosphérique dans l'étincelle de capacité, a été appelé par M. Hemsalech ⁽⁷⁾ le *premier* spectre de lignes. M. Hemsalech a en effet découvert un nouveau spectre de lignes de l'azote, qu'il appelle le *second* et que l'on obtient dans l'étincelle de self-induction. Ce second spectre de lignes n'a d'ailleurs pas jusqu'ici été retrouvé dans le tube de Geissler.

Si le circuit de décharge de la bobine d'induction ne

(¹) A. ANGSTRÖM, *Kgl. Svensk. vet. Akad. Handl.*, 1853, p. 229-232.

(²) DOVE, *Pogg. Ann.*, t. CIV, 1858, p. 184-188.

(³) VAN DER WILLIGEN, *Pogg. Ann.*, t. CVI, 1859, p. 610-632.

(⁴) PLÜCKER et HITTORF, *Phil. Trans.*, t. CLV, 1865, p. 1-29.

(⁵) ANGSTRÖM et THALEN, *Nov. Acta reg. Soc. sc. Upsal*, 3^e série, t. IX, 1875.

(⁶) PIAZZI-SMITH et A. HERSCHEL, *Trans. Roy. soc. Edinburg*, t. XXXI, 1882, p. 93-160.

(⁷) HEMSALECH, *C. R. Acad. Sc.*, t. CLII, 1911, p. 1471-1475.

contient pas de condensateur en déviation, on n'obtient plus dans le tube de Geissler des raies, mais des bandes dégradées vers les courtes longueurs d'onde, que M. Deslandres ⁽¹⁾ a divisées en quatre groupes. Trois de ces groupes sont donnés par la colonne de lumière qui part de l'électrode positive, tandis que le quatrième est dû à la lueur qui entoure l'électrode négative et ne se répand dans tout le tube qu'aux très basses pressions.

Les trois groupes du pôle positif ont été numérotés du rouge au violet :

Le premier groupe positif, reconnu par Plücker et Hittorf, est formé de bandes d'allure complexe. Il commence dans l'infrarouge et se termine vers $\lambda 500^{\mu}$. C'est le moins bien connu de tous les spectres de bandes de l'azote.

Le deuxième groupe positif, le plus anciennement et le mieux connu, s'étend de $\lambda 500^{\mu}$ à $\lambda 280^{\mu}$.

Le troisième groupe positif, découvert par M. Deslandres et attribué par lui à un composé oxygéné de l'azote, se trouve tout entier dans l'ultraviolet et s'étend de $\lambda 300^{\mu}$ à $\lambda 200^{\mu}$.

39. *Spectres étudiés dans ce travail.* — Je me suis limité dans mes recherches au premier spectre de lignes de l'azote et au premier groupe des bandes positives.

II. — LE PREMIER SPECTRE DE LIGNES.

40. *Historique.* — Le premier spectre de lignes de l'azote a été étudié le plus souvent en même temps que le spectre élémentaire de l'oxygène. Lorsqu'on fait éclater dans l'air l'étincelle condensée, c'est l'ensemble de ces deux spectres que l'on obtient et que l'on désigne sous le nom de *spectre de l'air*. Les raies de l'air avaient d'abord été mesurées

(1) H. DESLANDRES, *Thèse*, Paris, 1888.

sans distinction d'origine. On s'est ensuite après Néovius ⁽¹⁾, préoccupé de séparer celles qui sont dues à l'azote de celles qui sont dues à l'oxygène. Et actuellement, après les travaux de M. Hemsalech ⁽²⁾, de Exner et Haschek ⁽³⁾, et plus récemment de M. Porlezza ⁽⁴⁾, nous possédons des relevés précis des raies du premier spectre de lignes de l'azote.

M. Hemsalech ⁽⁵⁾ a montré en outre que ces raies s'affaiblissent, puis disparaissent très rapidement quand on augmente la self-induction du circuit de décharge et qu'elles sont dues uniquement à la décharge initiale de l'étincelle de capacité.

Ces raies se présentent d'ailleurs dans toute l'étendue du spectre sans aucune régularité apparente dans la distribution de leurs longueurs d'onde et de leurs intensités. Je me suis proposé de chercher à les grouper en familles naturelles en étudiant leurs changements magnétiques.

41. *Le phénomène Zeeman dans le premier spectre de lignes de l'azote.* — Le dispositif employé dans la recherche de l'effet Zeeman sur les raies de l'azote est resté identique à celui que j'ai décrit dans le paragraphe relatif à l'hydrogène. L'intensité du champ magnétique était aussi la même. La pression de l'azote dans le tube de Geissler était d'environ 1^{mm} de mercure. Je donne dans le Tableau suivant les résultats de mes observations. Les longueurs d'onde et les intensités des raies étudiées sont empruntées au relevé de M. Porlezza.

(1) NÉOVIVS, *Bihang. Svensk. vet. Akad. Handl.*, t. XVII, I, n° 8, 1891.

(2) HEMSALECH, *Thèse, Paris*, 1901.

(3) EXNER et HASCHKE, *Tabellen der Funkenspectra*, Wien, 1902.

(4) PORLEZZA, *Atti del. Real. Acad. d. Lincei*, t. XX₂, 1911, p. 584-588, 642-646.

(5) HEMSALECH, *C. R. Acad. Sc.*, t. CLII, 1911, p. 1471-1475.

<i>i.</i>	λ .	$\Delta\lambda$.		$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} \cdot 10^{-4}$.		Observations.
		Vibr. paral.	Vibr. perp.	Vibr. paral.	Vibr. perp.	
4	6610,06		0,94		0,895	
5	481,34		0,94		0,93	Faible.
5	5941,49		0,86		1,005	
4	931,50		0,79		0,93	Diffuse
4	710,70	0,46	1,05	0,59	1,34	
4	686,14	0,74		0,945		La raie de vibrations perpendiculaires est seulement élargie et diffuse.
6	79,52		0,85		1,09	
4	76,01		0,39		0,50	
5	666,54		0,72		0,93	
4	495,87		0,92		1,27	Faible.
3	179,58		0,81		1,25	Faible.
4	045,07		0,68		1,11	
3	025,69	0,37	0,72	0,60	1,18	
3	015,65	0,51		0,835		La raie de vibrations perpendiculaires est diffuse : elle semble donner un doublet égal à celui des vibrations parallèles.
2	11,80		0,87		1,44	
4	10,65	0,35	0,99	0,57	1,63	
4	07,42		0,69		1,14	
6	05,12		0,64		1,05	
2	02,60		1,11		1,84	
7	01,34		0,49		0,61	
3	00,99		0,34		0,57	La raie 5001 est suivie d'une raie à 5000,99 et il y a superposition de deux des composantes des doublets des vibrations perpendiculaires.
4	4994,34	0,31	0,97	0,52	1,615	
3	87,22		1,16		1,94	
3	895,17		0,57		0,98	
6	03,53		0,68		1,22	
6	788,31		0,57		1,04	
5	79,90		0,24		0,43	

<i>i</i> .	λ .	$\Delta\lambda$.		$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} \cdot 10^{-4}$.		Observations.
		Vibr. paral.	Vibr. perp.	Vibr. paral.	Vibr. perp.	
3	14695,8					Triplet faible non mesurable.
4	74,89	0,35	1,31	0,67	2,47	
1	71,13					Triplet faible non mesurable.
3	67,25					Triplet faible non mesurable.
4	54,48					Triplet faible non mesurable.
8	43,35		0,715		1,385	
4	40,57		0,51		0,98	
4	34,07		0,42		0,81	
9	30,58		0,72		1,39	
6	21,46		0,70		1,365	
6	13,88		0,71		1,38	
7	07,16		0,71		1,39	
7	01,54		0,71		1,40	
4	552,26		0,51		1,03	
7	29,74		0,46		0,93	
2	14,83		0,53		1,08	
2	10,78		0,46		0,93	
4	07,68		0,63		1,28	
10	447,03		0,45		0,94	
4	32,53		0,505		1,07	Raie diffuse.
8	241,71		0,415		0,96	
8	36,24		0,32		0,74	Raie diffuse.
7	28,52		0,41		0,96	
4	199,31					Triplet faible non mesurable.
5	79,82		0,46		1,09	
6	75,93		0,35		0,825	
5	45,47		0,49		1,18	
4	33,32		0,73		1,76	
4	03,12	0,27	0,50	0,665	1,24	
5	097,04		0,42		1,04	
6	41,37		0,42		1,07	
5	34,53		0,34		0,88	
5	25,42		0,35		0,895	
10	3995,11		0,40		1,04	
6	55,77		0,29		0,76	
7	18,83		0,36		0,96	
5	839,09		0,49		1,38	

De même que dans le cas du spectre élémentaire de l'oxygène, on voit, d'après le Tableau, que la plupart des raies du spectre de lignes de l'azote donnent des triplets. En groupant les raies d'après les valeurs des écarts, on trouve que les groupes de beaucoup les plus nombreux sont ceux qui correspondent à des valeurs de $\frac{H\lambda^2}{\Delta\lambda} \cdot 10^{-4}$ voisines de 1,40, de 1,06 et de 0,94. Sur 52 triplets mesurés, on a huit valeurs voisines de 1,40, onze qui s'approchent de l'écart normal 0,94, et douze qui sont égales aux erreurs de mesure près à 1,06 ⁽¹⁾. J'ai cherché entre les longueurs d'onde ou les nombres de vibrations des raies appartenant à ces différents groupes des relations correspondant aux types connus de régularités. Je n'ai pas réussi. J'indiquerai seulement que dans le groupe des raies 4630,58, 4621,46, 4613,88, 4607,16, 4601,54, qui donnent toutes un écart égal à $\frac{3}{2}$ fois l'écart normal, les différences secondes des intervalles entre les nombres de vibrations sont à peu près constantes, à une unité du cinquième ordre près.

III. — LE PREMIER SPECTRE DE BANDES DE L'AZOTE.

41. *Historique.* — Le premier spectre de bandes de l'azote, a été reconnu par Plücker et Hittorf et par van der Willigen, qui le faisaient commencer vers la bande B du spectre solaire. En 1875, Angström et Thalen montrèrent qu'il s'étendait entre $\lambda 681^{\mu}$ et $\lambda 500^{\mu}$ et se présentait sous l'aspect de quatre sous-groupes semblables, dans lesquels l'intensité des bandes allait d'abord en croissant, passait par un maximum pour décroître ensuite jusqu'à leur rencontre avec le groupe suivant. Chaque bande était d'ailleurs caractérisée par trois maxima principaux dont les plus intenses étaient le premier et le

(1) Cf. COTTON, *Radium*, t. VIII, 1911, p. 33-43.

troisième. Ensuite Piazzzi-Smith et A. Herschell, reconnurent l'existence de bandes nouvelles comprises entre la bande A du spectre solaire et la première bande de Thalen.

Après cette reconnaissance générale du spectre vinrent les mesures de précision. En 1885, Hasselberg ⁽¹⁾ donna un relevé de toutes les bandes plus réfrangibles que $\lambda 6622$. Quelque temps après Piazzzi-Smith ⁽²⁾ mesurait à nouveau toutes ces bandes en y ajoutant celles qu'il avait découvertes précédemment et dont la moins réfrangible commence à $\lambda 7635,6$.

On commençait alors à se préoccuper de la recherche des régularités dans les spectres. Déjà A. Herschel ⁽³⁾ avait remarqué que les intervalles entre les têtes de bandes successives de ce groupe allaient en décroissant régulièrement du rouge au vert et il s'autorisait de ce fait pour attribuer à l'azote une raie située à $\lambda 777\frac{1}{4}$ et signalée par Piazzzi-Smith. Mais c'est à M. Deslandres ⁽⁴⁾ qu'il était réservé d'apporter sur toutes les questions relatives aux spectres de bandes une lumière nouvelle. Il trouva que, dans les spectres de bandes, les raies en lesquelles elles se résolvent et les têtes des bandes elles-mêmes forment des séries, où les intervalles vont en croissant en progression arithmétique. Il annonça en particulier que les têtes de bandes du premier groupe de l'azote forment trois ou cinq séries arithmétiques. Quinze ans après, Cuthbertson ⁽⁵⁾, se reportant aux mesures de

(1) HASSELBERG, *Mém. Acad. de Saint-Petersbourg*, 7^e série, t. XXII, 1885.

(2) PIAZZZI-SMITH, *Trans. Roy. Society of Edinburg.*, 3^e série, t. XXXII, 1887, p. 415-460.

(3) A. HERSCHEL, *Trans. Roy. Soc. Edinburg*, 1^{re} série, t. XXX, 1882, p. 93-160.

(4) DESLANDRES, *C. R. Acad. Sc.*, t. CIV, 1887, p. 972-976.

(5) CUTHBERTSON, *Phil. Mag.*, 6^e série, t. III, 1902, p. 348-353,

Hasselberg distribua toutes ces bandes en treize séries et il publia un Tableau où ces treize séries étaient disposées suivant des colonnes verticales. Peu de temps après, M. Deslandres ⁽¹⁾ apporta quelques modifications au Tableau de Cuthbertson. Les séries étaient au nombre de 15, et comprenaient, outre les bandes mesurées par Hasselberg, y compris $\lambda 4126,01$ et $\lambda 6068,27$ que Cuthbertson n'avait pu classer, deux bandes moins réfrangibles $\lambda 6701,0$ et $\lambda 6785,7$ mesurées par Angström et Thalen. Il faisait remarquer en outre que non seulement les intervalles horizontaux du Tableau de Cuthbertson forment une série arithmétique, mais aussi que les intervalles verticaux du même Tableau forment une autre progression arithmétique. Il résulte de là, comme l'a montré M. Deslandres, que la fonction $\varphi(p^2)$ de la formule générale

$$N = f(n^2, p^2) m^2 + B n^2 + \varphi(p^2)$$

a ici la forme simple $D + c p^2$ et que l'ensemble des bandes du groupe peut être représenté par la formule

$$N = 22785,1 - \frac{30,819}{8}(2n)^2 + \frac{29,363}{8}(2p+1)^2.$$

Récemment, R. von Helm ⁽²⁾ a mesuré de nouveau les têtes de bandes de ce groupe comprises entre $\lambda 6874,18$ et $\lambda 5183,84$ et a cherché à les classer suivant la loi de Deslandres. Il élimine des Tableaux de Cuthbertson et de M. Deslandres les bandes N 19395, 19502, 19607 qu'il n'a pas retrouvées, les bandes N 19782, 19872, 21168, 21225 qui d'après lui n'appartiennent pas à ce groupe et la raie 18230 qui n'est pas une tête. Il aboutit ainsi à 14 séries verticales et à 3 séries horizontales. Les têtes de bandes, qui figurent dans chacune des séries horizontales, sont les têtes successives de chacun des trois

(1) DESLANDRES, *C. R. Acad. Sc.*, t. CXXXIV, 1902, p. 747-750.

(2) R. VON HELM, *Zeits. für wiss. Photog.*, t. VIII, 1910, p. 405-432.

sous-groupes qu'il distingue dans l'ensemble du spectre; celles qui forment les séries verticales sont celles qui se correspondent dans ces sous-groupes.

Malgré ces modifications de détail, le type de classification de Cuthbertson et de M. Deslandres garde toute sa valeur, et le spectre est représenté par la formule écrite plus haut. Bien plus cette même formule suffit à représenter les séries constituées par les seconde et troisième têtes de chaque bande et établies par R. von Helm. Il suffit pour cela de remplacer la constante 22785,1 par les valeurs correspondantes 22808,1 et 22848,1.

Ces classifications ne s'appliquent qu'aux bandes comprises entre $\lambda 6874^{\mu\mu}, 18$ et $\lambda 500^{\mu\mu}$. Pendant les dix dernières années, on a cherché à suivre le développement du spectre de part et d'autre de ces limites. L'infra-rouge a été exploré par Drew ⁽¹⁾ puis par Coblenz ⁽²⁾ qui se servaient de radiomicromètres. Ils ont trouvé que le spectre de l'azote se prolongeait d'une façon continue jusque vers 2^{μ} et présentait des maxima d'intensité de plus en plus marqués correspondant approximativement aux longueurs d'onde $0^{\mu}, 546$, $0^{\mu}, 667$, $0^{\mu}, 75$, $0^{\mu}, 89$ et $1^{\mu}, 06$. Leur relevé ne donne d'ailleurs aucune indication sur la structure des bandes qui se trouvent dans cette région. L'autre côté du spectre a été étudié par Goldstein ⁽³⁾, qui, plaçant le tube d'azote dans l'air liquide, a vu disparaître les bandes du deuxième groupe tandis que celles du premier groupe s'étendaient sans interruption depuis le rouge jusqu'au violet.

42. *Objet de mes recherches.* — D'après l'historique qui

(1) DREW, *Phys. Review*, t. XII, 1903, p. 321-354.

(2) COBLENTZ, *Phys. Review*, t. XX, 1905, p. 395-399; t. XXII, 1906, p. 1-30.

(3) GOLDSTEIN, *Verhandl. Deutsch. Phys. Gesells.*, t. VI, 1904, p. 315-324.

précède, on peut se rendre compte que la structure de l'ensemble du groupe de bandes est suffisamment bien établie. Il reste cependant plusieurs questions à résoudre que je me suis proposé d'étudier dans ces recherches.

D'une part, au point de vue même de la distribution des têtes de bandes, il était intéressant de poursuivre le relevé dans l'infrarouge et d'appliquer aux bandes de cette région la formule de Deslandres. De plus, dans la région où ce groupe de bandes se rencontre avec le deuxième groupe, il y a des bandes qui ont été attribuées tantôt à l'un, tantôt à l'autre groupe. J'ai fait quelques épreuves dans le but d'éclaircir ce point de détail.

Mais la lacune la plus considérable dans notre connaissance du premier groupe de l'azote, c'est que jusqu'à présent ses bandes n'ayant pas été étudiées avec une grande dispersion nous ne savions pas la distribution des raies en lesquelles elles se résolvent. J'ai cherché à remplir au moins en partie ce desideratum.

44. Le premier groupe dans la région des grandes longueurs d'onde. — Dans les premières expériences que j'ai faites pour la recherche des bandes situées dans l'extrême rouge et dans le commencement de l'infrarouge, je me suis servi d'un tube en bout du modèle ordinaire contenant de l'air à la pression de 2^{mm} de mercure et du spectrographe à deux prismes de flint que j'ai décrit dans la première Partie. Plus tard j'ai remplacé dans le tube l'air par de l'azote préparé chimiquement et le spectrographe à un prisme de Rutherford. Les plaques photographiques étaient sensibilisées au trempé suivant le procédé déjà indiqué.

J'ai ainsi obtenu tout d'abord une série de huit bandes en parfaite continuité avec les bandes déjà connues, et formant un cinquième sous-groupe de même allure générale que les quatre déjà relevés par Ångström et Thalen,

En prolongeant le temps de pose jusqu'à des durées de 24 heures, j'ai obtenu ensuite une nouvelle série de huit bandes encore moins réfrangibles que les précédentes. Les deux plus réfrangibles de ces bandes nouvelles appartiennent au cinquième sous-groupe, tandis que les six autres constituent la première partie d'un sixième sous-groupe. Toutes ces bandes, comme les bandes déjà connues sont dégradées vers le violet. Dans les plus intenses d'entre elles, on peut distinguer jusqu'à cinq maxima dont les quatre premiers se trouvent dans la première moitié de la bande, tandis que le cinquième, beaucoup plus faible, est placé tout à fait vers la fin ⁽¹⁾. J'ai mesuré les longueurs d'onde de ces cinq maxima dans la plupart des bandes de la première série. Quant à celle de la seconde série, qui ont été photographiées avec une fente un peu large, je n'ai pu mesurer que leur tête principale.

Dans le Tableau suivant je donne le résultat de ces mesures, avec en regard les nombres déduits des planches de Piazz-Smith. Plusieurs de ces nombres diffèrent beaucoup des miens. Pour expliquer ces différences, il suffit de faire remarquer que les mesures de C. Piazz-Smith ont été faites oculairement et que ces bandes, à peine visibles à l'œil, ont dû être observées par lui avec une fente large.

Piazz-Smith.	F. Croze.	Piazz-Smith.	F. Croze.
	9108 0		8204 . 1
	8909 0		8020 0
	8726 2		7884 0
	8541 2		7751,1 2
			34,4 2
	8369 1		10,9 3

(1) Ce cinquième maximum peut d'ailleurs aussi bien être considéré comme le premier maximum de la bande suivante.

Piazzi-Smith.	F. Croze.	Piazzi-Smith.	F. Croze.
7635,6	7622,4 5	286,5	7272,1 5
99,2	99,1 4	67,4	59,5 4
	598,7 4		50,5 4
562,6	53,6 5		37,0 5
	19,7 1		170,1 1
499,0	7499,9 6	182,9	7163,0 3
	87,1 4	49,0	50,8 2
	7478,5 4		40,7 2
	65,5 6		30,1 3
	392,8 1		067,6 1
		088,7	
7386,6	7384,3 6	59,1	7057,9 2
	71,8 4		47,8 2
	62,0 4	6993,5	
34,6	47,9 6	59,9	6956,3 1
	290,8 1	11,3	

45. *Distribution des têtes de bandes dans le premier groupe de l'azote.* — Lorsqu'on photographie le premier groupe de l'azote avec un appareil peu dispersif, il présente l'aspect de six sous-groupes semblables. Si l'on examine le spectre obtenu avec un réseau on voit tout de suite que le premier sous-groupe du côté du violet n'est en réalité que le prolongement du sous-groupe précédent.

Ce fait avait déjà été reconnu par R. von Helm, qui a divisé avec raison la partie de ce spectre plus réfrangible que $\lambda 6874$ A. U. en trois sous-groupes seulement, dont les deux derniers sont partiellement enchevêtrés. Ce physicien a reconnu aussi que plusieurs des têtes de bandes attribuées à ce groupe par Cuthbertson et M. Deslandres appartiennent en réalité au deuxième groupe. Mais les têtes N 19395, 19502, 19607 qu'il n'a pas retrouvées existent cependant et constituent avec N 19724 la fin du sous-groupe le plus réfrangible.

SPECTRES D'ÉMISSION DES GAZ USUELS.

77

40 39 38 37 36 35 34 33 32

16	167
168,4	
17	521
517,6	
18	846
836,5	17 666
	662,0
	18 960
	950,5
	17 809
	805,4
	19 069
	063,9
	17 951
	947,8
	19 183
	175,7
	18 094
	089,3
	19 291
	286,9
	19 395
	397,1
	19 502
	506,4
	19 608
	614,7
	19 724
	722

J'ai calculé à l'aide de la formule de M. Deslandres

$$N = 22785,1 - \frac{30,319}{8}(2n)^2 + \frac{29,363}{8}(2p+1)^2$$

les nombres de vibrations des 36 têtes de bandes mesurées par R. von Helm, des quatre autres qui terminent le dernier sous-groupe et des 16 nouvelles que j'ai mesurées dans l'extrême rouge et le commencement de l'infrarouge. L'accord entre le calcul et le résultat des mesures est très satisfaisant, comme on peut se rendre compte par l'examen du Tableau des deux pages 76 et 77, qui ne diffère d'ailleurs de celui de R. von Helm que par les quelques têtes ajoutées de chaque côté et par le fait que la bande N 16167 se trouve ici rattachée au troisième sous-groupe et non au deuxième à partir des courtes longueurs d'onde ⁽¹⁾.

Les nombres obtenus par le calcul sont en chiffres gras et ceux qui résultent des mesures en chiffres ordinaires.

R. von Helm a groupé de la même façon les deuxième et troisième maxima principaux de chaque bande. On obtient des séries identiques aux précédentes. Je ne reproduis pas ici ces Tableaux. Je me contenterai d'indiquer que les deuxième et troisième têtes que j'ai mesurées dans l'extrême rouge se rapportent aussi bien que les premières à la formule de M. Deslandres, en remplaçant la constante 22785,1 par 22801,1 et par 22848,1.

46. *Relevé des bandes du premier groupe de l'azote avec une grande dispersion.* — Après avoir fait un relevé général des têtes de bandes du premier groupe de l'azote, R. von Helm a essayé de photographier quelques-unes des bandes les plus intenses avec la grande dispersion d'un réseau concave de 6^m,50 de rayon. Malgré des durées de pose allant jusqu'à 33 et même plus de 66 heures, il n'a

⁽¹⁾ Dans ce Tableau, comme dans celui de R. von Helm, les longueurs d'onde n'ont pas été réduites au vide pour le calcul des nombres de vibrations.

pu mesurer qu'une centaine de raies dans la bande $\lambda 6623$. J'ai photographié les bandes $\lambda 6704$, 6623 , 6544 , 6468 , 6394 , 6322 , dans le spectre du deuxième ou du troisième ordre d'un réseau plan de Rowland appartenant à l'Observatoire de Meudon, qui était monté suivant le type Littrow avec un objectif de $2^m,50$ de distance focale. Les durées de pose ont été seulement de 15 minutes pour le deuxième ordre et de 45 minutes à 1 heure dans le troisième. Le tube à vide, disposé pour l'observation *en bout*, contenait de l'air à la pression de 2^{mm} environ et était excité par une bobine de 35^{cm} d'étincelle.

Les bandes sont bien résolues et, dans les bandes $\lambda 6544$ et 6468 que j'ai obtenues particulièrement intenses, j'ai pu mesurer jusqu'à 230 raies. Il serait désirable de faire le relevé complet de toutes les bandes du groupe, ce qui permettrait de reconnaître et d'étudier les particularités de structure qu'elles présentent, surtout celles qui terminent les différents sous-groupes. Mais les circonstances ne m'ont pas permis d'achever ce travail, et je me bornerai à donner ici le relevé des bandes $\lambda 6544$ et $\lambda 6468$, que j'ai particulièrement étudiées au point de vue de la distribution des séries de raies.

Bande 6544.

<i>i.</i>	λ .	N.	<i>i.</i>	λ .	N.
3 tête	6544,843	15274,99	3 large	6541,710	1528,31
3	641	5,47	2	263	3,35
3	417	5,99	3	028	3,90
2	219	6,45	4	000	3,97
1	096	6,73	1	40,700	4,67
5	43,917	7,15	2 large	477	5,19
1	676	7,72	1	234	5,76
2	417	8,36	2 large	39,746	6,90
2	202	8,82	3	371	7,78
1	066	9,14	1 large	38,900	8,87
3	42,723	9,94	3	425	9,99
4	268	81,00	2	37,931	91,14

i.	λ.	N.	i.	λ.	N.
1	6537,663	15291,77	1	6523,632	4,67
2	409	2,26	2	361	5,29
2 large	36,929	3,49	1	057	6,00
1	308	4,94	1	22,919	6,34
5 tête	35,655	6,47	1 large	727	6,78
7	101	7,76	2	446	7,44
2	34,931	8,15	5	167	8,10
4	617	8,90	1	21,989	8,51
3	473	9,24	2	765	9,04
3	187	9,91	2	439	9,81
2	014	300,31	2	20,842	31,22
5 large	33,756	0,91	1	651	1,67
1	309	1,96	3	308	2,47
3	107	2,43	3	146	2,85
4	32,659	3,48	1	19,645	4,03
4	464	3,94	2	075	5,37
1	159	4,65	1	18,835	5,95
1	31,941	5,17	2	689	6,28
3	714	5,70	1	550	6,60
3	100	7,14	2	435	6,87
2	30,776	7,89	1	189	7,15
2	29,949	9,83	5	052	7,79
5	29,455	10,99	4	17,715	8,17
1	196	1,60	1	16,864	10,17
4	28,820	2,48	1	761	0,81
3	693	2,78	1	612	1,17
2	322	3,64	5 tête	401	1,66
2	047	4,30	2	242	2,03
4 { large } 4 { double? }	27,711	5,09	2	164	2,22
3	405	5,80	4	15,882	2,88
1	003	6,74	4	763	3,16
2 large	26,683	7,19	1	568	3,62
1	373	8,22	1	394	4,04
8	25,937	9,24	3	167	4,57
2	744	9,70	5	14,667	5,74
3	433	20,42	3	448	6,26
1	186	1,00	1	161	6,94
2	24,954	1,55	1	13,877	7,60
1	794	1,93	6	623	8,19
5	623	2,33	6	585	8,29
9 large	081	3,60	5 { large } 5 { double? }	034	9,19

SPECTRES D'ÉMISSION DES GAZ USUELS.

Si

<i>i.</i>	λ .	N.	<i>i.</i>	λ .	N.
6	6512,542	15350,75	1	6498,645	3,58
0	179	1,60	4	138	4,64
1	11,980	2,07	4	040	5,02
0	745	2,62	1	97,906	5,34
3	394	3,46	1	736	5,74
7	210	3,66	2	568	86,14
0	016	4,36	2	407	6,52
2	10,751	4,98	0	96,991	7,50
3	489	5,60	1	868	7,79
8 large	061	6,60	1	404	8,89
3 large	09,490	7,95	1	95,886	90,11
2	305	8,38	2	609	0,78
1	066	8,95	2	398	1,27
1	08,849	9,46	2	275	1,56
4	774	9,64	6	095	1,98
2	642	9,95	2	94,764	2,77
2 large	258	60,86	3	461	3,48
1	07,895	1,71	2 large	92,954	7,07
2	678	2,22	2	672	7,74
4	275	3,18	1	391	8,40
3	170	3,43	3	097	9,09
4	066	3,67	1	91,823	9,75
1	06,853	4,17	1	640	400,18
2	234	5,64	1	347	0,88
1	05,847	6,55	1	075	1,52
4	331	7,75	5	181	3,64
3	174	8,14	5	90,101	3,84
1	04,676	9,32	2	89,495	5,27
1	118	70,64	1	245	5,86
5	03,562	1,95	1	041	6,35
1	358	2,44	2	88,821	6,89
1	176	2,86	2	87,595	9,77
4	02,980	3,32	2	87,348	10,37
1	175	5,23	1 large	85,766	4,12
2	01,623	6,54	2	84,754	6,52
3	500,993	8,02	2	526	7,08
3	608	8,94	1	270	7,68
2	277	9,77	1	003	8,32
0	499,864	80,70	1	83,770	8,87
6 double?	578	1,37	1	520	9,47
2	047	2,63	1	291	20,01

C.

6

<i>i.</i>	λ .	N.	<i>i.</i>	λ .	N.
2 large	6482,947	15420,83	0	6475,827	15437,79
3	445	22,02	2	627	8,27
1 double	81,895	3,33	1	302	9,03
1 double	584	4,08	2	275	9,10
1	385	4,55	2 large	74,603	40,70
1	267	4,83	0	424	1,13
3	80,394	6,91	0	246	1,56
2	037	7,76	0	095	1,92
1	79,584	8,83	0	73,854	2,49
1	409	9,25	2	601	3,10
1	276	9,56	1	407	3,55
3	082	30,03	2	184	4,09
1	78,908	0,45	1	72,588	5,51
3	505	1,41	1 double	268	6,28
3	427	1,59	2	71,997	6,92
0	77,970	2,64	1	416	8,31
0	534	3,72	1	007	9,29
0	76,892	5,25	1	69,666	52,48
3	609	5,92	1	382	3,17
0	150	7,02	1 large	68,906	4,30
0	75,974	7,44			

Bande 6468.

<i>i.</i>	λ .	N.	<i>i.</i>	λ .	N.
5 tête	6468,591	15455,05	4	6464,663	15464,44
5	419	5,45	1	430	5,00
8	129	6,16	1	144	5,68
4	67,928	6,64	1	63,906	6,26
5	612	7,39	1	631	6,92
2	286	8,17	1	420	7,42
2	272	8,20	3	068	8,26
3	66,988	8,88	1	62,567	9,46
4	905	9,08	4	345	9,99
3	799	9,33	2	144	70,47
4	408	60,27	1	61,902	1,05
4	65,926	1,42	3	136	2,89
2	423	2,62	3	012	3,18
2	332	2,84	1	60,796	3,70
1	046	3,52	2 large	589	4,20
6	64,868	3,95	1	398	4,65

l.	λ.	N.	l.	λ.	N.
1	6460,235	15475,04	1	6450,933	15497,36
1 large	036	5,52	1 large	608	8,13
1	59,827	6,02	5 id.	195	9,13
4 large	645	6,46	3 id.	49,750	500,20
1	148	7,64	1	035	1,92
7 tête	58,858	8,34	2 large	48,858	2,35
1	657	8,83	6	389	3,47
2	464	9,28	1 large	47,858	4,75
3	340	9,59	1 id.	618	5,33
6	226	9,86	1 id.	295	6,10
2	102	80,15	3	46,680	7,58
1	57,943	0,54	6	486	8,05
1	802	0,87	2	066	9,07
5 large	676	1,14	2	45,852	9,58
1	438	1,75	2	705	9,93
1	058	2,65	2	373	10,73
2	56,868	3,11	2	205	1,13
4	745	3,40	1	085	1,42
1	584	3,80	0	44,879	1,92
2	413	4,20	4	612	2,56
3 large	200	4,72	4	530	2,75
1	55,827	5,61	1 large	002	3,93
1	681	5,96	3	43,405	5,46
1 large	499	6,40	3	212	5,93
3	208	7,06	2	42,874	6,03
2	54,823	8,02	7	478	7,69
2	670	8,39	3	104	8,60
0	263	9,36	0 large	41,670	9,64
0	011	9,97	1	082	21,05
6 large	53,600	90,95	5 tête	40,743	1,87
2	409	1,41	5	683	2,02
3	140	2,06	4	523	2,40
0	52,831	2,80	2	360	2,80
4	649	3,24	6	118	3,38
3	560	3,45	1	003	3,65
2	202	4,31	2 large	39,542	4,77
4	51,919	4,99	3	214	5,56
1	768	5,35	5	137	5,73
2	472	6,06	5	38,852	6,43
1	369	6,31	3	765	7,00
3 large	218	6,67	6	131	8,17

<i>i.</i>	λ .	N.	<i>i.</i>	λ .	N.
3	6437,975	15528,55	3	6426,362	15556,61
3	778	9,02	2	065	7,32
3	469	9,77	2	25,951	7,60
2	273	30,22	3	752	8,08
2	145	0,55	2	626	8,39
4	36,992	0,92	2	422	8,88
5	35,844	3,68	2	277	9,23
5	746	3,99	2	24,564	60,95
1	319	4,95	3	367	1,44
2	172	5,31	1	23,990	2,35
1	34,968	5,80	1	844	2,70
1	694	6,46	1	136	4,42
5 large	594	6,70	5	018	4,70
1	260	7,51	5	22,954	4,86
1	097	7,90	1	662	5,53
2	33,892	8,40	1	470	6,03
2	664	8,95	1	242	6,59
5	475	9,41	2 large	21,624	8,08
1	199	40,07	2 id.	498	70,81
2 large	32,904	0,78	2 id.	163	1,63
0	503	1,75	2 id.	19,964	2,11
0	323	2,19	2 id.	653	2,87
4	118	2,69	1	18,195	6,40
6	31,933	3,13	1	17,935	7,04
6	676	3,75	1	823	7,31
4	367	4,02	1	629	7,77
1	384	4,46	2	197	8,83
1	264	4,75	1	097	9,07
5	30,963	5,48	0	16,439	80,66
2	693	6,13	3	15,310	3,40
0	459	6,70	3	201	4,03
2	200	7,26	2	14,793	4,67
5	027	7,74	2	666	4,97
1	29,880	8,10	3	176	6,16
1 diffuse	439	9,16	2	13,043	8,92
1	29,116	9,94	3	12,644	9,89
6	28,380	51,72	2	471	90,30
6	257	2,02	3	11,054	3,75
2	152	2,28	4	09,938	6,46
5 large	27,740	3,27	1	680	7,09
2	26,534	6,20	1	580	7,34

<i>i.</i>	λ .	N.	<i>i.</i>	λ .	N.
1 large	6409,353	15597,89	I	03,857	1,24
I id.	08,957	8,85	I	514	2,12
I.	782	9,28	I large	195	2,89
2	540	9,87	O	02,641	4,24
O	222	600,65	I large	320	5,03
2	005	1,19	I	01,756	6,40
3	07,830	1,60	I	447	7,15
I	349	2,77	I	059	8,10
2 large	084	3,42	I	000	8,25
I id.	06,809	4,09	I	00,446	9,50
I id.	597	4,61	I	309	9,93
I	051	5,93	O	399,217	22,60
I	05,543	7,15	I	98,998	3,13
I	251	7,88	I	698	3,87
I	04,763	9,07	I large	438	4,50
2	504	9,70	I	190	5,10
I	282	10,24	I	97,952	5,68
3 large	078	0,77	2	809	6,04

46. *Distribution des raies dans les bandes du premier groupe.* — Un grand nombre de bandes présentent, lorsqu'on les examine avec un appareil de haute dispersion, un aspect d'une belle régularité. On voit partir de la tête des séries de raies ou de groupements semblables de raies, quel'on peut suivre longtemps et comptant un assez grand nombre de termes. Il n'en est pas ainsi dans le cas des bandes du premier groupe de l'azote. A première vue, il semble qu'il n'y ait aucune régularité dans la distribution des raies qui les constituent. Les raies fortes et les raies faibles se succèdent sans ordre apparent, et l'on n'aperçoit pas les groupements semblables que l'on retrouve dans la plupart des bandes étudiées jusqu'ici. Si cependant on fait abstraction de la multitude des raies faibles que l'on rencontre sur toute l'étendue de chaque bande, on aperçoit, surtout dans les deux premières parties, des raies fortes dont la succession semble

plus régulière. C'est à étudier la distribution de ces raies que je me suis attaché.

Dans beaucoup de travaux récents sur les spectres de bandes, on a cherché à se rendre compte de la rigueur avec laquelle les lois empiriques de M. Deslandres représentent la distribution réelle des raies. Ce point de vue très intéressant, il est possible seulement de l'envisager quand on a affaire à des séries de raies dont l'existence est manifeste et dont les termes sont très nombreux. Il serait très difficile de l'utiliser ici. En fait, j'ai cherché à construire des séries de Deslandres, en groupant ensemble les raies qui semblaient, d'après leur intensité et l'ensemble de leurs caractères, appartenir à des familles naturelles. Je suis ainsi arrivé à construire trois séries dans lesquelles les intervalles croissent à peu près en progression arithmétique et qui comprennent presque toutes les raies intenses de la bande. Ces séries se retrouvent d'ailleurs identiques dans les deux bandes que j'ai étudiées, comme on peut s'en rendre compte par l'examen des Tableaux suivants.

PREMIÈRE SÉRIE.

<i>Bande 6544.</i>				<i>Bande 6468.</i>			
λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
6543,066	15279,14	0,80		6466,799	15459,33	0,94	
42,723	9,94	1,06	0,26	408	60,27	1,15	0,21
268	81,00	1,31	0,25	65,326	1,42	1,42	0,27
41,710	2,31	1,66	0,35	332	2,84	1,60	0,18
000	3,97	1,79	0,13	64,663	4,44	1,82	0,22
40,234	5,76	2,02	0,23	63,906	6,26	2,00	0,18
39,371	7,78	2,21	0,19	068	8,26	2,21	0,21
38,425	9,99	2,37	0,16	62,144	70,47	2,42	0,21
37,409	92,36	2,58	0,21	61,136	2,89	2,63	0,21
36,308	4,94	2,84	0,26	60,036	5,52	2,84	0,21
35,059	7,76			58,858	8,34		

DEUXIÈME SÉRIE.

Bande 6544.

λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
65,44,655	152,75,43		
43,490	78,15	2,72	0,13
42,268	81,00	2,85	0,05
41,028	3,90	2,90	0,10
39,746	6,90	3,00	0,09
38,425	9,99	3,09	0,05
.....	93,13	3,14	0,10
35,655	6,47	3,24	0,20
34,187	9,91	3,44	0,13
32,659	303,48	3,57	0,09
31,100	7,14	3,66	0,19
29,455	10,99	3,85	0,25
27,711	5,09	4,10	0,05
25,937	9,24	4,15	0,21
24,081	23,60	4,36	0,14
22,167	8,10	4,50	0,25
20,146	32,85	4,75	0,19
18,052	7,79	4,94	0,15
15,882	42,88	5,09	0,22
13,623	8,19	5,31	0,16
11,210	53,66	5,47	0,33
08,849	9,46	5,80	0,38
06,234	65,64	6,18	0,13
03,562	71,95	6,31	0,12
.....	8,38	6,43	0,21
498,040	85,02	6,64	0,32
95,095	91,98	6,96	0,15
92,097	9,09	7,11	0,15
89,041	106,35	7,26	0,51
85,766	14,12	7,77	0,13
82,445	22,02	7,90	0,11
79,082	30,03	8,01	0,23
75,627	38,27	8,24	

Bande 6468.

λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
6468,419	15455,45		
67,272	8,20	2,75	0,08
.....	61,03	2,83	0,09
64,868	3,95	2,92	0,05
63,631	6,92	2,97	0,10
62,345	9,99	3,07	0,12
61,012	73,18	3,19	0,09
59,645	6,46	3,28	0,12
58,226	9,86	3,40	0,14
56,745	83,40	3,54	0,12
55,208	7,06	3,66	0,23
53,600	90,95	3,89	0,15
51,919	4,99	4,04	0,10
50,195	9,13	4,14	0,20
48,389	503,47	4,34	0,24
46,486	8,05	4,58	0,12
44,530	12,75	4,70	0,24
42,478	7,69	4,94	0,17
40,360	22,80	5,11	0,26
38,131	8,17	5,37	0,14
35,844	33,68	5,51	0,22
33,475	9,41	5,73	0,34
30,963	45,48	6,07	0,17
28,380	51,72	6,24	0,12
25,752	8,08	6,36	0,26
23,018	64,70	6,62	0,34
21,163	71,63	6,93	0,27
17,197	8,83	7,20	0,13
14,176	86,16	7,33	0,26
11,054	93,75	7,59	0,26
07,830	601,60	7,85	0,25
04,504	9,70	8,10	0,30
01,059	8,10	8,40	

TROISIÈME SÉRIE.

Bande 6544.				Bande 6468.			
λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .	λ .	N.	Δ_1 .	Δ_2 .
6516,401	15341,66	0,56		6440,743	15521,87	0,53	
164	2,22	0,38		523	2,40	0,98	0,45
15,763	3,16	0,94	0,47	118	3,38	1,39	0,41
167	4,57	1,41	0,28	39,542	4,77	1,66	0,27
14,448	6,26	1,69	0,34	38,852	6,43	2,12	0,46
13,585	8,29	2,03	0,43	37,975	8,55	2,37	0,25
12,542	50,75	2,46	0,25	36,992	30,92	2,76	0,39
11,394	3,46	2,71	0,43	35,844	3,68	3,02	0,26
10,061	6,60	3,14	0,21	34,594	6,70	3,37	0,35
08,642	9,95	3,35	0,37	33,199	40,07	3,68	0,31
07,066	63,67	3,72	0,36	31,676	3,75	3,99	0,31
05,331	7,75	4,08	0,12	30,027	7,74	4,28	0,29
03,562	71,95	4,20	0,39	28,257	52,02	4,59	0,31
01,623	6,54	4,59	0,24	26,362	6,61	4,83	0,24
499,578	81,37	4,83	0,32	24,367	61,44	5,15	0,32
97,407	6,52	5,15	0,31	22,242	6,59	5,52	0,37
95,095	91,98	5,46	0,30	19,964	72,11	5,66	0,14
92,672	7,74	5,76	0,14	17,629	7,77	5,90	0,24
90,181	403,64	5,90	0,23	.....	83,67	6,22	0,32
87,348	9,77	6,13	0,62	12,644	9,89	6,57	0,35
84,754	16,52	6,75	0,16	09,938	96,46	6,96	0,39
81,895	23,33	6,81	0,31	07,084	603,42	7,35	0,39
78,908	30,45	7,12	0,70	04,078	10,77	7,48	0,13
75,627	8,27	7,82	0,19	01,000	18,25	7,79	0,31
72,268	46,28	8,01		397,809	26,04		

Pour achever l'étude de la distribution des raies en séries, il serait nécessaire de grouper les nombreuses raies faibles, de même que certaines raies intenses voisines des trois têtes principales de chaque bande, qui n'entrent pas dans ces séries. Pour cela il faudrait photographier le spectre avec une dispersion encore plus grande et dans des conditions d'intensité plus favorables aux mesures; L'existence des séries déjà trouvées suffit d'ailleurs pour qu'on puisse reconnaître le caractère de la distribution

des raies dans les bandes de ce type complexe, et permet de conclure à une très grande généralité des lois des séries arithmétiques semblables de M. Deslandres. Le premier spectre de bandes de l'azote, en effet, ne se distingue pas seulement des autres par son aspect moins régulier, mais encore, comme nous allons le voir, par l'influence qu'exerce sur lui l'action d'un champ magnétique.

CHAPITRE IV.

Les spectres de bandes et le phénomène de Zeeman.

47. *Historique.* — Les premières recherches de l'effet Zeeman sur les spectres de bandes donnèrent toutes des résultats négatifs.

En 1897, Zeeman ⁽¹⁾ lui-même étudiant le spectre d'absorption de la vapeur d'iode ne put déceler aucun changement dans les bandes qui le constituent. Peu de temps après, Michelson ⁽²⁾ n'observa aucun dédoublement dans les raies des bandes du carbone. Ces observations furent d'ailleurs presque aussitôt confirmées par les expériences de H. Becquerel et Deslandres ⁽³⁾ relatives aux bandes violettes du cyanogène et à celles du groupe négatif et du deuxième groupe positif de l'azote; et, quelques années après, Runge et Paschen ⁽⁴⁾ retrouvaient le même résultat négatif pour le spectre de bandes du mercure.

Ces observations avaient été faites avec des champs

(1) ZEEMAN, *Phil. Mag.*, 5^e série, t. XLIII, 1897, p. 226-239.

(2) MICHELSON, *Phil. Mag.*, 5^e série, t. XLV, 1897, p. 348-356. — *Natur.*, t. LIX, 1899, p. 441-443.

(3) H. BECQUEREL et H. DESLANDRES, *C. R. Acad. Sc.*, t. CXXVII, 1898, p. 18-25.

(4) RUNGE et PASCHEN, *Abhand. Berl. Akad.*, 1902.

qui ne dépassaient pas 24 000 gauss. Purvis ⁽¹⁾ reprit l'étude des bandes du deuxième groupe de l'azote dans un champ qu'il estimait égal à 41 000 gauss. Il n'observa aucun changement dans la structure de ces bandes.

Mais à ce moment des faits nouveaux furent mis en lumière par les travaux de J. Becquerel et A. Dufour. M. J. Becquerel ⁽²⁾ montra que les spectres d'absorption des sels de métaux rares, à l'état cristallisé ou dissous, contiennent des bandes qui présentent le phénomène Zeeman, et il en a même signalé quelques-unes pour lesquelles les séparations sont beaucoup plus grandes que celles auxquelles les raies d'émission nous avaient habitué. M. A. Dufour, de son côté, après avoir établi que les bandes d'absorption de l'hypoazotide en vapeur étaient faiblement modifiées par le champ magnétique ⁽³⁾, démontra dans une belle série de recherches ⁽⁴⁾ l'existence du phénomène de Zeeman pour les bandes d'émission des composés halogénés des métaux alcalino-terreux, du fluorure de silicium et de l'oxyde de fer.

Il résulte évidemment de ces recherches que l'insensibilité des bandes au champ magnétique n'est pas comme on l'avait cru une loi générale. Mais, si l'on s'en tient aux spectres d'émission, il semblait que la structure des bandes sensibles au champ fût très différente de celles qui ne présentaient pas le phénomène Zeeman. Ces dernières, lorsqu'on les observe avec un appareil d'une dispersion suffisante, apparaissent résolues en raies fines

⁽¹⁾ PURVIS, *Proceed. of the Cambridge Phil. Soc.*, t. XIII, part. VI, 1906, p. 354-355.

M. Cotton a montré que l'intensité du champ doit être réduite à 30 000 gauss (*Journ. de Physique*, 5^e série, t. II, 1912, p. 97-104).

⁽²⁾ J. BECQUEREL, *Radium*, t. III, 1906, p. 149-215; t. IV, 1907, p. 49-107; t. V, 1908, p. 105.

⁽³⁾ A. DUFOUR, *Radium*, t. V, 1908, p. 86.

⁽⁴⁾ A. DUFOUR, *Radium*, t. V, 1908, p. 291-306.

distribuées en séries arithmétiques. Au contraire, dans les bandes étudiées par M. Dufour, les composantes que l'on observe sont dégradées et présentent l'aspect de bandes très étroites non résolues.

Il semblait donc d'après cela qu'on avait affaire à deux catégories de bandes : d'une part des bandes résolubles en raies fines et insensibles au champ magnétique, d'autre part des bandes non résolubles et présentant l'effet Zeeman.

Il était donc intéressant de savoir si la non résolubilité des bandes était corrélative de leur sensibilité au champ magnétique. A cet effet, on pouvait d'un côté partir des bandes des fluorures sensibles à l'effet Zeeman et voir, au moyen de spectrographes de très grande dispersion, si elles sont effectivement susceptibles d'être résolues en raies fines; et d'autre part, prendre comme sujet d'expérience des bandes déjà résolues, et, en se plaçant dans des conditions optima au point de vue de l'intensité du champ magnétique et de la grandeur des longueurs d'onde, voir s'il s'en trouve qui donnent un effet Zeeman.

La recherche de l'effet Zeeman dans les spectres de bandes offre de l'intérêt encore à un autre point de vue, qui se rattache d'ailleurs au précédent. On sait en effet que, relativement à la structure des spectres de bandes deux conceptions tout différentes se sont fait jour. La première est celle de M. Deslandres. D'après lui, les bandes se résolvent en séries de raies qui partent d'une tête et dans lesquelles les intervalles vont toujours en croissant en progression arithmétique, avec des perturbations accidentelles. Cette conception s'appuie sur de nombreuses observations et semble valable pour les bandes dans lesquelles les séries n'ont pas plus de 50 ou 60 termes.

D'après Thiele, au contraire, une bande serait bien constituée par une ou plusieurs séries de même allure,

commençant chacune par une raie qui est la tête de la série et dont l'ensemble forme la tête de la bande. Mais la loi de ces séries n'est pas celle qui résulte des formules de M. Deslandres. Dans chaque série, en effet, les intervalles vont d'abord en croissant, passent par un maximum et décroissent ensuite indéfiniment jusqu'à un point d'accumulation appelé *la queue de la bande*. Ces idées de Thiele ont reçu une vérification expérimentale, partielle il est vrai, mais néanmoins très importante. Kayser et Runge ⁽¹⁾ ont trouvé en effet que dans la bande $\lambda 3883$ attribuée au cyanogène les intervalles vont d'abord en croissant, passent par un maximum entre la 153^e et la 156^e raie de la série pour décroître ensuite; et, ils ont pu suivre cette décroissance jusqu'à la 169^e raie. Quelques années après, King ⁽²⁾ découvrait dans le même spectre du cyanogène de nouvelles bandes dirigées vers les courtes longueurs d'onde et croyait pouvoir considérer ces bandes comme les *queues* correspondant aux têtes anciennement connues. Plus récemment ⁽³⁾, Jungbluth, reprenant les mesures de Kayser et Runge, confirmait l'existence d'un maximum de l'intervalle et retrouvait les *queues* de King.

La légitimité de la coordination en un même système des *queues* de King et des têtes du groupe du cyanogène $\lambda 3883$ a cependant été contestée par Ritz et, à sa suite, par M. P. Weiss ⁽⁴⁾. Si, en effet, on examine les planches publiées par Kayser et Runge, puis par Jungbluth, on voit que ces queues sont composées de raies relativement intenses avec des différences presque constantes, tandis que les différences devraient croître très rapide-

(1) KAYSER et RUNGE, *Abhand. der Berl. Akad.*, 1889.

(2) KING, *Astrophys. Journ.*, t. XIV, 1901, p. 322-330.

(3) JUNGBLUTH, *Zeits. für wiss. Photog.*, t. II, 1904, p. 88-108.

(4) P. WEISS, *Radium*, t. VIII, 1911, p. 177-180.

ment. Il était intéressant de voir comment ces raies se comportent sous l'influence du champ magnétique.

J'ai été ainsi amené à rechercher l'effet Zeeman sur les spectres de bandes les plus faciles à produire dans le champ. Et, pour éviter toute objection provenant de l'action directe du champ sur la décharge, je me suis toujours astreint à la condition de faire éclater l'étincelle ou de faire passer la décharge dans le tube de Geissler parallèlement aux lignes de force du champ magnétique.

48. *Spectres de bandes ne présentant pas l'effet Zeeman.*
— Dans ces recherches, j'ai commencé par étudier les spectres de bandes qui avaient déjà été observées dans le champ magnétique par Michelson, H. Becquerel et M. Deslandres : les bandes du groupe négatif et du deuxième groupe positif de l'azote et les bandes du groupe $\lambda 3883$ du cyanogène. Le dispositif était le même que celui que j'ai décrit dans le paragraphe relatif au premier spectre de l'hydrogène.

J'ai d'abord pu constater que dans un champ de 24 000 gauss les bandes de l'azote du groupe négatif, de même que celles du deuxième groupe positif ne subissent pas de changement appréciable.

J'ai fait la même constatation pour les bandes de Swan attribuées au carbone et pour celles de l'oxyde de carbone.

Tous ces spectres ont été produits en faisant passer la décharge d'une bobine d'induction dans un tube de Geissler placé suivant l'axe de l'électro-aimant. Ce dispositif, qui nécessitait l'emploi de pièces polaires percées, entraînait l'inconvénient de limiter l'intensité du champ à un maximum voisin de 24 000 gauss. Dans le cas du cyanogène, j'ai pu éviter cet inconvénient et obtenir des intensités du champ beaucoup plus grandes. Il est facile en effet d'obtenir ce spectre en faisant éclater l'étincelle

de self-induction entre des électrodes de charbon. On peut de cette façon produire non seulement les bandes ordinaires, mais encore en prolongeant la durée de pose photographier les *queues* de King qui jusqu'ici n'avaient été vues que dans le spectre de l'arc. Or, même dans un champ de 37 000 gauss, ni les têtes, ni les queues ne subissent de changement appréciable.

Il résulte de là d'une part, que les observations anciennes se trouvent confirmées. D'autre part, s'il n'est pas certain que les *queues* de King font partie du même système que les bandes du cyanogène $\lambda 3883$, on peut dire cependant qu'elles s'obtiennent dans les mêmes conditions et qu'elles se comportent de même au point de vue de l'effet Zeeman ⁽¹⁾.

49. *Spectres de bandes résolubles présentant l'effet Zeeman.* — Après avoir achevé ces vérifications, j'ai d'abord essayé les bandes du premier groupe de l'azote. J'ai pu photographier les bandes $\lambda 6069, 6013, 5959, 5906, 5854, 5804, 5755$ dans le troisième ordre du réseau concave de l'École Normale supérieure. Elles m'ont paru tout de suite très sensibles au champ; c'est pourquoi, afin d'avoir un champ aussi constant que possible, j'ai alimenté le circuit de l'électro au moyen d'une batterie d'accumulateurs. Toute la puissance de l'électro n'était pas utilisée, mais pendant les 8 heures que durait la pose

(1) Tout récemment M. Fortrat a montré que les bandes qui ne présentent pas l'effet Zeeman sont cependant faiblement modifiées par le champ magnétique. Dans un champ magnétique intense, — 40000 gauss, — il a observé que les doublets ou triplets étroits tendaient à se réduire à des raies simples. (*Comptes rendus*, t. CLVI, 1913, p. 1459-1461).

On retrouve le commencement de cet effet sur la photographie de la bande $\lambda 3883$ du cyanogène que j'ai prise dans un champ de 37000 gauss.

le champ, d'environ 18 000 gauss, présentait une grande constance.

Comme on peut s'en rendre compte d'après le relevé que j'ai donné de deux bandes de ce groupe, les raies sont si nombreuses et si serrées que, avec la dispersion de l'appareil utilisé, les composantes magnétiques des raies individuelles s'enchevêtrent les unes dans les autres, ou se superposent, ou se rejoignent. De cette sorte, il est impossible de suivre toutes les raies une à une et de déceler l'effet Zeeman correspondant à chacune. Seules les raies plus intenses qui correspondent aux trois maxima principaux de chaque bande se dégagent assez pour qu'on puisse se rendre compte de l'effet qu'elles subissent.

La première tête donne un triplet, dans lequel les deux composantes latérales présentent une dissymétrie d'intensité remarquable. Tandis que la composante déplacée vers le violet est très intense, la composante déplacée vers le rouge est très faible. Cette différence d'intensité est d'ailleurs trop grande pour qu'elle puisse s'expliquer simplement par le fait que les composantes magnétiques de raies plus réfrangibles que la tête peuvent se superposer à la composante de vibrations accélérée de cette tête. *L'écart des deux composantes est le double de l'écart normal.*

La deuxième tête semble donner un quadruplet dans lequel l'écart des composantes correspondant aux vibrations perpendiculaires au champ serait égal à celui des composantes correspondant aux vibrations parallèles. Sa valeur semble aussi être égale au double de l'écart normal.

Quant à la troisième tête elle semble donner également un quadruplet, où l'écart des deux doublets est le même et égale aux $\frac{4}{3}$ de l'écart normal.

Les conclusions relatives à ces deux dernières têtes sont d'ailleurs très douteuses, et je ne donne ici que les me-

sures relatives aux premières têtes de chacune des bandes mesurées.

λ .	$\Delta\lambda$.	$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} \cdot 10^{-4}$.	λ .	$\Delta\lambda$.	$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} \cdot 10^{-4}$.
5959,25	1,18	1,86	5804,28	1,12	1,86
5906,24	1,19	1,89	5755,20	1,09	1,84
5854,69	1,15	1,87			

Il résulte de là qu'il existe des bandes, résolubles en raies fine très sensibles au champ magnétique, et que, suivant une remarque déjà faite par M. Cotton ⁽¹⁾, il y a dans les spectres de bandes, qu'on regarde généralement comme des spectres de molécules, des relations simples entre l'écart observé des composantes magnétiques et l'écart normal.

51. *La résolubilité des bandes sensibles au champ magnétique.* — Après avoir montré qu'il existe des bandes résolubles en raies fines sensibles au champ magnétique, il restait à voir si les bandes, dans lesquelles l'existence de l'effet Zeeman a été observé pour la première fois par M. A. Dufour, étaient résolubles en raies ou non.

Ces bandes, sauf peut-être celles du fluorure de silicium, n'apparaissent pas résolues dans les belles photographies qu'a publiées M. Dufour et qui ont été obtenues en utilisant le spectre du troisième ordre du réseau de l'École Normale supérieure. Cependant, quelques-unes d'entre elles avaient déjà été étudiées par M. Ch. Fabry ⁽²⁾ et par M. Humphreys qui les observaient avec un grand réseau concave de Rowland de 6^m,50 ou 7^m de rayon, et leur avaient paru résolubles. « Dans le spectre du fluorure de calcium qui est le plus facile à obtenir, dit M. Fabry, les raies qui constituent chaque bande sont tellement serrées qu'au voisinage de la tête je n'ai pas réussi à les séparer;

(1) A. COTTON, *Radium*, t. VIII, 1911, p. 33-43.

(2) CH. FABRY, *Journ. de Phys.*, 4^e série, t. IV, 1905, p. 245-252.

à quelque distance de la tête les raies, moins serrées, commencent à se séparer; mais alors elles empiètent sur les raies des têtes voisines et toute mesure est impossible. De même Humphreys ⁽¹⁾ indiquait la présence, entre les arêtes consécutives des composantes, d'un très grand nombre de raies fines, sans d'ailleurs préciser davantage.

L'étude de ces mêmes bandes ou de bandes analogues a été reprise par plusieurs physiciens allemands, qui tous travaillaient avec des réseaux concaves de 6^m,50 de rayon. L'un d'eux, Meisenbach ⁽²⁾ annonce qu'il a résolu quelques-unes des bandes du chlorure de calcium. Il donne en particulier la distribution des raies dans la bande $\lambda 6205,72$ que M. Dufour a relevée à partir de $\lambda 6207,68$. Or, si l'on compare les nombres et la planche de M. Meisenbach avec les longueurs d'onde et le cliché donnés par M. Dufour, on voit que les formations tenues pour des raies par M. Meisenbach sont précisément les composantes de bandes relevées par M. Dufour. La même remarque s'applique aux données de M. Börsch ⁽³⁾ relatives à la bande $\lambda 5139,07$ du chlorure de baryum.

Il résulte de cet exposé que la résolubilité des bandes étudiées par M. Dufour dans le champ magnétique est encore douteuse. Pour essayer de réaliser cette résolution, j'ai construit un très grand spectrographe constitué par un réseau plan de 6 pouces et de 590 traits par millimètre associé à un objectif de même ouverture et de 10^m de distance focale. Avec ce puissant appareil, j'ai étudié celui des spectres de M. Dufour qui paraissait le plus facile à obtenir dans de bonnes conditions d'intensité : le spectre du fluorure de calcium.

(1) HUMPHREYS, *Astrophys. Journ.*, t. XXII, 1905, p. 220.

(2) MEISENBACH, *Zeits. für wiss. Photo.*, t. VI, 1908, p. 258-270.

(3) BÖRSCH, *Zeits. für wiss. Photo.*, t. VII, 1909, p. 297-326.

La source lumineuse employée était l'arc électrique, produit entre des charbons préalablement percés et remplis d'une mèche à base de fluorine. De cette façon, les bandes du fluorure de calcium apparaissent très brillantes encore dans le troisième ordre du réseau. La distance entre deux composantes successives des bandes D'' , D' , D est alors de 4^{mm} à 5^{mm} . Ces composantes sont résolues, sauf au voisinage immédiat de la tête, en une série de raies qui vont en s'écartant progressivement à mesure qu'on s'éloigne de la tête, comme dans les bandes résolubles régulièrement constituées ⁽¹⁾.

On peut donc considérer les bandes de M. Dufour comme résolubles en raies fines et dire qu'à ce point de vue-là, on n'a pas deux catégories distinctes de bandes, en se limitant, bien entendu, au cas des spectres d'émission des gaz et des vapeurs.

§2. *Conclusion.* — Toutes les bandes émises par des gaz ou des vapeurs sont résolubles, pourvu qu'on emploie une dispersion suffisante. Parmi elles, plusieurs subissent l'effet Zeeman tandis qu'un grand nombre ne le subissent pas; et, l'on n'aperçoit pas dans leur origine, leur structure ou leurs variations caractéristiques, de critérium universel qui permette de classer les résultats obtenus jusqu'ici.

En effet, si les bandes, étudiées par M. Dufour dans le champ magnétique, sont dues à des composés, les bandes violettes généralement attribuées au cyanogène ne sont pas décomposées par le champ en composantes polarisées. Il y aurait intérêt, à ce point de vue, à re-

(1) Tout récemment M. Danjon a obtenu dans le deuxième ordre d'un réseau concave de 3^{m} de rayon de belles photographies des bandes des fluorures de calcium et de strontium, où celles-ci apparaissent déjà nettement résolues.

chercher le phénomène de Zeeman, dans d'autres bandes de composés, telles par exemple que les bandes rouges du cyanogène, celles du troisième groupe positif de l'azote et celles de la vapeur d'eau.

De plus, si le phénomène de Zeeman dans les bandes des fluorures se présente avec un caractère particulier, ce caractère se retrouve dans certaines raies du second spectre de l'hydrogène; et, récemment MM. Buisson et Fabry ont montré que les particules mises en jeu dans l'émission de ce spectre avaient la mobilité, non pas de la molécule, mais de l'atome d'hydrogène, alors que les spectres des fluorures sont certainement des spectres de molécules. Il peut se faire cependant que dans un spectre complexe, comme le second spectre de l'hydrogène, il y ait plusieurs sortes de particules mises en jeu donnant lieu à diverses catégories de raies; et, il serait important de savoir si, en particulier, les données de MM. Buisson et Fabry s'appliquent aux raies qui, comme certaines bandes de M. Dufour, donnent le phénomène Zeeman positif.

En se plaçant au point de vue de la structure, on remarque que, si les bandes sensibles au champ du premier groupe positif de l'azote ont une allure très complexe, l'aspect des bandes des fluorures résolues est simple et assez voisin de celui des bandes qui ne donnent pas le phénomène Zeeman.

Si l'on considère les variations caractéristiques, on ne trouve pas davantage de corrélations simples et universelles. Les bandes des fluorures sont renversables; celles du groupe λ 3883 du cyanogène le sont aussi, et ne donnent pas le phénomène de Zeeman.

A la vérité, ni le déplacement des raies vers le rouge sous l'influence de la pression, ni l'effet Stark n'ont pu encore être constatés sur les bandes d'émission. Mais si les bandes étudiées par Humphreys sont bien parmi celles

qui ne donnent pas l'effet Zeeman, aucune des bandes d'émission qui présentent cet effet n'a encore été étudiée au point de vue du déplacement par la pression. D'ailleurs, M. Dufour a trouvé, sur les bandes d'absorption du brome et du peroxyde d'azote, à côté de raies sensibles à la pression et à l'effet Zeeman, d'autres raies qui ne subissent que l'un ou l'autre de ces effets et d'autres qui n'en subissent aucun. Il est très probable que des faits du même ordre pourront être retrouvés dans les spectres d'émission. Quant au phénomène de Stark, son étude est encore bien peu avancée et se présente dans des conditions assez difficiles dans le cas des spectres de bandes.

La conclusion de cet exposé, c'est que de nouvelles recherches sont encore nécessaires, pour classer les faits, presque aussi disparates que nombreux, connus actuellement.

RÉSUMÉ.

En résumé, le présent travail comprend :

1^o La découverte et la mesure des longueurs d'onde des raies ou bandes suivantes : 98 raies du deuxième spectre de l'hydrogène comprises entre $\lambda 6852$ et $\lambda 8029$; 31 raies du spectre élémentaire de l'oxygène s'étendant de $\lambda 5316$ à $\lambda 7152$; 16 bandes du premier groupe positif de l'azote dont la moins réfrangible est à $\lambda 9108$; 2 bandes du spectre cathodique de l'oxygène dont les têtes sont à $\lambda 6853$ et à $\lambda 5007$;

2^o La résolution en raies des bandes négatives de l'oxygène et des bandes les plus intenses du premier groupe positif de l'azote, avec un relevé des longueurs d'onde et la distribution des raies en séries;

3^o La recherche de la loi de distribution des raies du deuxième spectre de l'hydrogène qui ne donnent pas le phénomène de Zeeman, et l'établissement de huit séries arithmétiques;

4° La mesure de l'effet Zeeman dans le premier spectre de l'hydrogène, les raies les plus intenses du deuxième spectre et l'ensemble des raies du spectre élémentaire de l'oxygène et le premier spectre de lignes de l'azote;

5° La vérification de l'inexistence de l'effet Zeeman sur les bandes du deuxième groupe positif et du groupe négatif de l'azote, du spectre de Swan, de l'oxyde de carbone et des bandes du cyanogène du groupe $\lambda 3883$;

6° La constatation de l'inexistence de l'effet Zeeman sur les *queues* des bandes du cyanogène produites pour la première fois dans l'étincelle de self-induction;

7° La constatation et la mesure sur les bandes résolues du premier groupe positif de l'azote, du phénomène de Zeeman, qui n'avait été trouvé jusqu'ici que dans des bandes d'émission non résolues et dont la résolubilité était douteuse;

8° La confirmation de la résolubilité des bandes du fluorure de calcium.

Vu et approuvé :

Paris, le 19 juin 1913.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

PAUL APPELL.

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 19 juin 1913.

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

L. LIARD.

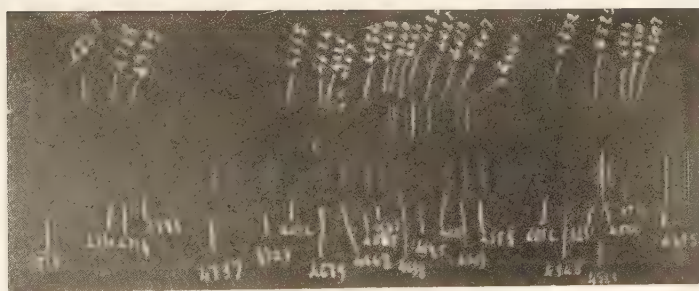


Effet Zeeman.

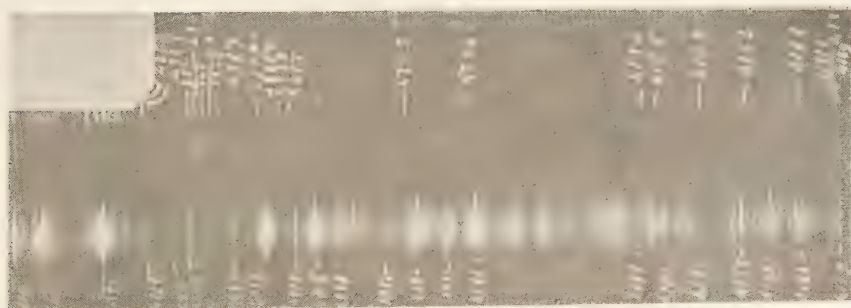
Hydrogène.



Azote



Oxygène.



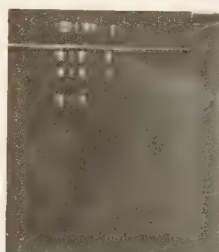
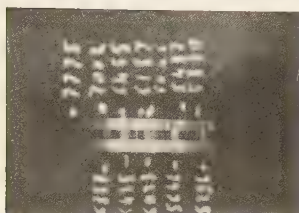
Clichés réduits de $\frac{1}{3}$ environ.

Spectres de bandes.

BANDES NÉGATIVES DE L'OXYGÈNE.

Bande 6854.

Variations avec la self-induction.



Bandes de l'oxygène résolues.

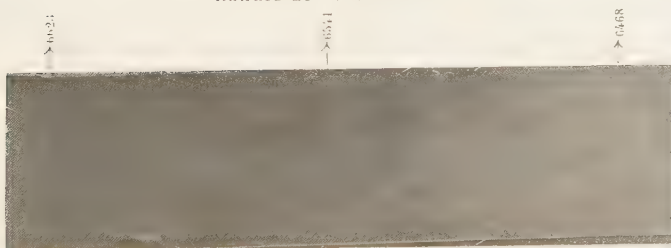


BANDES DU 1^{er} GROUPE POSITIF DE L'AZOTE.

Bandes nouvelles.



Bandes de l'azote résolues.



SECONDE THÈSE.

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Relation entre les spectres des éléments et leurs poids atomiques.

Vu et approuvé :

Paris, le 19 juin 1913.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

PAUL APPELL.

Vu et permis d'imprimer

Paris, le 19 juin 1913.

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

L. LIARD.

50734 PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS.
Quai des Grands-Augustins, 55.
